



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**COMPARATIVO ENTRE EDIFICAÇÕES COM ESTRUTURA EM  
CONCRETO ARMADO E MISTA AÇO-CONCRETO**

Willian Poletto Zanon

Lajeado, novembro de 2019

Willian Poletto Zanon

## **COMPARATIVO ENTRE EDIFICAÇÕES COM ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E MISTA AÇO-CONCRETO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Ma. Rebeca Jéssica Schmitz

Lajeado, novembro de 2019

Willian Poletto Zanon

## **COMPARATIVO ENTRE EDIFICAÇÕES COM ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E MISTA AÇO-CONCRETO**

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Ma. Rebeca Jéssica Schmitz – orientadora  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Esp. Valmir Stani Fell Júnior  
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, 02 de dezembro de 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a empresa TQS Informática LTDA por fornecer a licença do *software* pelo tempo necessário para desenvolver os projetos estruturais, apoiando a realização da pesquisa.

Agradeço a minha orientadora, Rebeca Jéssica Schmitz, por me ajudar na escolha do tema de estudo e por todas as inúmeras orientações que tivemos durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos meus pais por me propiciarem as melhores condições de estudo, em todas as fases da minha vida, e pelo apoio incondicional para todas as escolhas que tive.

Agradeço ao meu tio, Alexsandre, e a minha avó, Diná, por todo o cuidado e preocupação que têm comigo. Vocês são muito especiais e foram fundamentais para este momento.

Agradeço aos meus amigos Rafael e Henrique, por todo o apoio emocional, desde a época de Ensino Médio, e aos meus colegas de Graduação, por todas as horas de ajuda mútua que tivemos.

Agradeço a Univates por ter me ensinado a ser uma pessoa melhor, tanto como estudante quanto profissional, e ao Colégio Madre Bárbara, por ter me oferecido uma excelente base de conceitos que foram utilizados até o fim da minha Graduação.

*“Tornar o simples em complicado é fácil; tornar  
o complicado em simples é criatividade.”*

Charles Mingus

## RESUMO

O orçamento de uma obra é um fator determinante para o sucesso de um empreendimento. Conforme os anos passam, surgem novas possibilidades para soluções estruturais, o que pode aumentar a versatilidade dos elementos e propiciar excelente economia. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo o comparativo de custos em relação aos materiais necessários para estrutura de dois sistemas distintos: estruturas de concreto armado e estruturas mistas de aço-concreto, com variação para 8, 12 e 16 pavimentos-tipo. A modelagem computacional foi feita com o *software* CAD/TQS, onde foram fornecidas a planta baixa, as cargas atuantes e elaborado o dimensionamento de cada elemento componente da estrutura. Nas estruturas dos dois sistemas, as lajes são de mesmas características, com 10cm de espessura. As vigas foram dispostas nas mesmas posições e, para as estruturas mistas, as vigas metálicas não têm contribuição da laje para a resistência. Para os pilares, os dois sistemas têm as mesmas posições construtivas, em uma mesma quantidade, mas com características diferentes: para o sistema em concreto armado foram utilizados pilares em L, em alguns locais, enquanto para o sistema misto foram utilizadas vigas inclinadas para auxílio no contraventamento da estrutura. O orçamento final da obra, para cada sistema estrutural, foi calculado por valores de referência em tabelas do SINAPI, a partir dos relatórios quantitativos gerados pelo programa. Para as estruturas de concreto armado, os custos das estruturas foram de R\$ 308.912,76, R\$ 517. 850,29 e R\$ 694.540,76 para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. Para o sistema misto, os custos totais das estruturas foram de R\$ 521.482,59, R\$ 845.650,85 e R\$ 1.319.812,34 para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. Desta forma, os edifícios em concreto armado apresentaram maior viabilidade econômica.

**Palavras-Chave:** Dimensionamento Estrutural; Concreto Armado; Estrutura Mista Aço-Concreto; CAD/TQS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pré-Dimensionamento de Pilares.....	23
Figura 2 - Coeficiente de Arrasto ( $C_a$ ) .....	31
Figura 3 - Fator $S_2$ .....	32
Figura 4 - Velocidades do Vento Básico no Brasil.....	33
Figura 5 - Modelo Inicial dos Edifícios.....	47
Figura 6 - Redução de Sobrecargas .....	49
Figura 7 - Desenho dos Grampos (Pilares).....	49
Figura 8 - Modelador Estrutural (Concreto Armado) .....	50
Figura 9 - Modelador Estrutural (Estrutura Mista) .....	50
Figura 10 - Disposição Inicial dos Pilares.....	51
Figura 11 - Disposição Final dos Pilares .....	52
Figura 12 - Pilares em "L" .....	52
Figura 13 - Viga Aparente .....	53
Figura 14 - Vigas Apoiadas Sobre Vigas.....	53
Figura 15 - Transição Entre Pilares.....	54
Figura 16 - Ligação Entre Elementos Metálicos .....	55
Figura 17 - Vigas Inclínadas .....	55
Figura 18 - Pilares Dimensionados .....	57
Figura 19 - Erros de Extração de Aço .....	58
Figura 20 - Estrutura Corretamente Dimensionada.....	58
Figura 21 - Flechas nos Pavimentos (Concreto Armado).....	59
Figura 22 - Visão Tridimensional (8 Pavimentos - Concreto Armado).....	59
Figura 23 - Visão Tridimensional (12 Pavimentos - Concreto Armado).....	60
Figura 24 - Visão Tridimensional (16 Pavimentos - Concreto Armado).....	60

Figura 25 - Dimensionamento pelo MetalCheck.....	62
Figura 26 - Relatório de Perfis Utilizados .....	63
Figura 27 - Flechas (Estruturas Mistas) .....	64
Figura 28 - Visão Tridimensional (8 Pavimentos - Estrutura Mista).....	64
Figura 29 - Visão Tridimensional (12 Pavimentos - Estrutura Mista).....	65
Figura 30 - Visão Tridimensional (16 Pavimentos - Estrutura Mista).....	65
Figura 31 - Planilha de Quantitativos (Exemplo) .....	66
Figura 32 - Comparativo de Custos (Aço) .....	84
Figura 33 - Custo de Aço/m <sup>2</sup> .....	85
Figura 34 - Comparativo de Custos (Concreto).....	86
Figura 35 - Custo de Concreto/m <sup>2</sup> .....	87
Figura 36 - Comparativo de Custos (Formas) .....	88
Figura 37 - Custo de Formas/m <sup>2</sup> .....	89
Figura 38 - Comparativo de Custos (Geral) .....	89
Figura 39 - Custo da Estrutura/m <sup>2</sup> .....	90



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos Específicos dos Materiais Utilizados .....	28
Tabela 2 - Cargas Variáveis Por Ambiente .....	29
Tabela 3 - Planilha de Custos (Exemplo) .....	43
Tabela 4 - Características dos Ambientes.....	45
Tabela 5 - Modelos Elaborados.....	46
Tabela 6 - Definição dos Critérios (Principais) .....	48
Tabela 7 - Definição dos Critérios (Vento).....	48
Tabela 8 - Dimensões das Vigas (Concreto Armado) .....	61
Tabela 9 - Custos dos Materiais (SINAPI).....	67
Tabela 10 - Bitolas de Aço/Kg (8 Pavimentos - Concreto Armado).....	68
Tabela 11 - Concreto (8 Pavimentos - Concreto Armado) .....	69
Tabela 12 - Formas (8 Pavimentos - Concreto Armado).....	69
Tabela 13 - Custo da Estrutura (8 Pavimentos - Concreto Armado) .....	69
Tabela 14 - Bitolas de Aço/Kg (12 Pavimentos - Concreto Armado).....	70
Tabela 15 - Concreto (12 Pavimentos - Concreto Armado) .....	70
Tabela 16 - Formas (12 Pavimentos - Concreto Armado).....	71
Tabela 17 - Custo da Estrutura (12 Pavimentos - Concreto Armado) .....	71
Tabela 18 - Bitolas de Aço/Kg (16 Pavimentos - Concreto Armado).....	72
Tabela 19 - Concreto (16 Pavimentos - Concreto Armado) .....	72
Tabela 20 - Formas (16 Pavimentos - Concreto Armado).....	73
Tabela 21 - Custo da Estrutura (16 Pavimentos - Concreto Armado) .....	73
Tabela 22 - Bitolas de Aço/Kg (8 Pavimentos - Estrutura Mista).....	74
Tabela 23 - Perfis de Aço (8 Pavimentos - Estrutura Mista).....	75
Tabela 24 - Concreto (8 Pavimentos - Estrutura Mista) .....	76

Tabela 25 - Formas (8 Pavimentos - Estrutura Mista).....	76
Tabela 26 - Custo da Estrutura (8 Pavimentos - Estrutura Mista) .....	76
Tabela 27 - Bitolas de Aço (12 Pavimentos - Estrutura Mista) .....	77
Tabela 28 - Perfis de Aço (12 Pavimentos - Estrutura Mista).....	78
Tabela 29 - Concreto (12 Pavimentos - Estrutura Mista) .....	79
Tabela 30 - Formas (12 Pavimentos - Estrutura Mista).....	79
Tabela 31 - Custo da Estrutura (12 Pavimentos - Estrutura Mista) .....	80
Tabela 32 - Bitolas de Aço/Kg (16 Pavimentos - Estrutura Mista).....	80
Tabela 33 - Perfis de Aço (16 Pavimentos - Estrutura Mista).....	81
Tabela 34 - Concreto (16 Pavimentos - Estrutura Mista) .....	82
Tabela 35 - Formas (16 Pavimentos - Estrutura Mista).....	82
Tabela 36 - Custo da Estrutura (16 Pavimentos - Estrutura Mista) .....	83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e Desvantagens do Concreto Armado .....	24
Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens de Estruturas Mistas.....	27
Quadro 3 - Condições do Estado Limite Último.....	35
Quadro 4 - Condições do Estado Limite de Serviç.....	36
Quadro 5 - Observações (Estruturas de Concreto Armado) .....	91
Quadro 6 - Observações (Estruturas Mistas) .....	91

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Tema.....	15
1.2 Delimitações .....	15
1.3 Objetivos da Pesquisa .....	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
1.4 Justificativa e Relevância.....	16
1.5 Estrutura do Trabalho.....	17
 <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1 Estruturas de Concreto Armado .....	18
2.1.1 Características Gerais.....	18
2.1.2 Elementos das Estruturas de Concreto Armado .....	19
2.1.2.1 Lajes .....	20
2.1.2.2 Vigas.....	21
2.1.2.3 Pilares.....	22
2.1.3 Vantagens e Desvantagens de Edifícios em Concreto Armado.....	23
2.2 Estruturas Metálicas .....	24
2.2.1 Características Gerais.....	24
2.2.2 Elementos das Estruturas Metálicas .....	26
2.2.2.1 Vigas Mistas/Metálicas.....	26
2.2.2.3 Pilares Mistos/Metálicos .....	27
2.2.3 Vantagens e Desvantagens de Edifícios em Estrutura Mista.....	27
2.3 Carregamentos .....	28
2.3.1 Ações Permanentes .....	28
2.3.2 Ações Variáveis .....	29
2.3.3 Estados Limites.....	33

2.3.3.1 Estados Limites Últimos (ELU) .....	33
2.3.3.2 Estados Limites de Serviço (ELS).....	35
2.4 Modelagem de Edifícios em <i>Softwares</i> .....	36
2.4.1 Tipos de <i>Software</i> .....	37
2.4.2 Procedimentos .....	38
2.4.3 Vantagens .....	40
2.5 Custos .....	41
2.5.1 Custo de Estruturas de Concreto Armado .....	43
2.5.2 Custo de Estruturas Mistas .....	44
 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	 45
3.1 Definição do Projeto Arquitetônico .....	45
3.2 Procedimentos no <i>Software</i> CAD/TQS .....	46
3.2.1 Desenvolvimento dos Modelos .....	46
3.2.2 Definição dos Critérios .....	47
3.2.3 Lançamento dos Elementos Estruturais .....	49
3.2.3.1 Estruturas de Concreto Armado .....	51
3.2.3.2 Estruturas Mistas .....	54
3.2.4 Lançamento dos Carregamentos.....	56
3.2.5 Análise dos Modelos.....	56
3.2.5.1 Análise das Estruturas de Concreto Armado .....	57
3.2.5.2 Análise das Estruturas Mistas .....	61
3.2.6 Relatório de Quantitativos.....	66
3.3 Cálculo de Custo dos Materiais .....	66
3.4 Comparativo entre os Sistemas.....	67
 4 RESULTADOS.....	 68
4.1 Custos das Estruturas de Concreto Armado .....	68
4.2 Custos das Estruturas Mistas .....	73
4.3 Comparativo .....	83
4.3.1 Aço.....	83
4.3.2 Concreto.....	85
4.3.3 Formas .....	87
4.3.4 Comparativo Geral .....	89
4.3.5 Aspectos Qualitativos.....	91

<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE A – Planta Baixa do Pavimento-Tipo .....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE B – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (8 Pavimentos – Concreto Armado) .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE C – Relação de Pilares (8 Pavimentos – Concreto Armado) .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE D – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (12 Pavimentos – Concreto Armado) .....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE E – Relação de Pilares (12 Pavimentos – Concreto Armado) .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE F – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (16 Pavimentos – Concreto Armado) .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE G – Relação de Pilares (16 Pavimentos – Concreto Armado) .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE H – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (8 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE I – Relação de Pilares (8 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE J – Relação de Vigas (8 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE K – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (12 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE L – Relação de Pilares (12 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE M – Relação de Vigas (12 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE N – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (16 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE O – Relação de Pilares (16 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE P – Relação de Vigas (16 Pavimentos – Estrutura Mista) .....</b>	<b>117</b>

# 1 INTRODUÇÃO

À medida que os anos passam, a globalização propicia maior disponibilidade e agilidade para novas informações. Para qualquer engenheiro civil, é fundamental estar atento para qualquer novidade, principalmente em relação aos sistemas construtivos utilizados durante a execução de suas obras. A sociedade necessita e clama por produtos com excelente qualidade final e a melhor relação possível entre custo e benefício. Por estes motivos, é interessante comparar técnicas já consolidadas para projeto e execução, como as estruturas de concreto armado, com possíveis substitutos, como as estruturas mistas de aço-concreto.

Clímaco (2015) define o concreto armado como um material composto pela associação do concreto com barras de aço nele inseridas, com finalidade estrutural, e assim constituam um sólido único que possibilita a durabilidade da estrutura. Da mesma forma, Borges (2015) define como um concreto moldado com uma armação de aço em seu interior, com a utilização de formas.

Para as estruturas mistas de aço-concreto, um sistema misto pode ser composto por elementos de diferentes sistemas, como pilares e vigas metálicos associados com uma laje em concreto armado, que não auxilia na resistência de esforços em vigas e pilares. Dias (2002) acrescenta que a associação entre dois materiais distintos é traduzida em grande economia no peso final da estrutura.

Independente dos materiais escolhidos, Ramos (2002) explica que o projeto é uma união de informações que garante a transmissão das características físicas e tecnológicas da obra, em forma de roteiro. Desta forma, o projeto deve antecipar uma atividade que foi idealizada, e exige conhecimento pleno das especificações da estrutura que será concebida.

Além disso, para qualquer sistema adotado, Dias (2002) define que o conceito de estrutura pode ser especificado como um conjunto das partes de uma construção, com a finalidade de resistir às cargas e, com a ligação entre cada elemento, transmiti-las ao solo. Por sua vez, Martha (2010) explica que pode ser classificada como um empreendimento ou pode ser utilizada como o esqueleto de outro, feito em aço, concreto, madeira, blocos de rocha, materiais não convencionais ou novos materiais sintéticos.

Para qualquer sistema adotado, Araújo (2014) determina que a estrutura deve, em seu lançamento, observar a interferência com os outros projetos, como o elétrico e o hidrossanitário, além de permitir a passagem das tubulações previstas. Borges (2015) ressalta que as estruturas devem ser dimensionadas corretamente, de forma a haver segurança sem gastos desnecessários com materiais e mão-de-obra.

## **1.1 Tema**

O tema deste estudo é o comparativo de edifícios para dois sistemas construtivos distintos – projeto em estrutura de concreto armado e projeto em estrutura mista aço-concreto (vigas e pilares metálicos associados com lajes em concreto armado).

## **1.2 Delimitações**

A pesquisa delimita-se ao cálculo do custo de materiais para dois sistemas construtivos distintos – estruturas em concreto armado e estruturas com lajes de concreto armado e pilares e vigas metálicas. A modelagem será feita no *software* CAD/TQS para uma planta baixa, com três variações para o número de pavimentos: 8, 12 e 16.

## **1.3 Objetivos da Pesquisa**

Para as situações apresentadas neste trabalho, são dispostos os objetivos geral e específicos a seguir.



### **1.3.1 Objetivo Geral**

Comparar os custos de materiais para a execução da estrutura de edifícios, projetados em dois sistemas construtivos distintos – concreto armado e estrutura mista aço-concreto – com variação no número de pavimentos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Desta forma, os objetivos específicos são:

- a) modelar computacionalmente a edificação em estrutura de concreto armado;
- b) modelar computacionalmente a edificação em estrutura mista de aço-concreto;
- c) obter a quantidade necessária de materiais para as variações no número de pavimentos.
- d) analisar o custo de cada sistema estrutural.

## **1.4 Justificativa e Relevância**

O engenheiro civil deve estar atento aos diferentes sistemas estruturais, mesmo sendo o concreto armado o mais consolidado para estruturas de edifícios. As estruturas mistas aço-concreto apresentam grande potencial para estruturas de edifícios, pois possibilitam estruturas mais esbeltas e mais leves, diminuem o tempo de construção e podem gerar economias. Como a escolha do sistema estrutural influencia diretamente no custo final da obra, é interessante identificar as melhores alternativas construtivas, tanto para gerar maiores lucros ao profissional quanto para menores gastos aos clientes, que irão decidir se o projeto deve ser executado. Para estes, o fator financeiro é um dos principais fatores para a escolha de qual projeto será escolhido.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho tem quatro capítulos além desta introdução. No próximo capítulo serão apresentadas as características das estruturas de concreto armado, estruturas mistas de aço-concreto, carregamentos considerados para dimensionamento, modelagens em *softwares* estruturais e como é feito o cálculo de custos dos materiais componentes.

No capítulo 3 são apresentadas as etapas desenvolvidas na pesquisa, com todas as considerações e especificações necessárias.

No capítulo 4 são apresentados os resultados, baseados na metodologia especificada no capítulo 3.

No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões da pesquisa e considerações acerca de cada sistema construtivo analisado.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo, são apresentadas as principais informações necessárias para a elaboração do projeto estrutural em concreto armado e do projeto estrutural em estrutura mista aço-concreto, além das vantagens e limitações para cada sistema construtivo, de forma que haja melhor compreensão sobre as técnicas abordadas em cada caso.

### **2.1 Estruturas de Concreto Armado**

As estruturas de concreto armado são seguras e globalmente utilizadas como principal solução construtiva na maioria dos casos. Nesta seção serão apresentadas as características deste material, tipos de estrutura e suas vantagens e desvantagens.

#### **2.1.1 Características Gerais**

O concreto armado é, basicamente, a união do concreto moldado com uma armadura de aço. A união destes elementos propicia segurança no interior da peça em relação aos esforços de compressão, graças à resistência do concreto para este esforço, e aos esforços de tração, graças ao aço, que assegura sua estabilidade. (BORGES, 2015).

Geralmente, o concreto é constituído por três substâncias principais: cimento agregado graúdo (pedra ou brita) e agregado miúdo (areia, pó de brita). O primeiro é uma substância sílico-calcária, excelente para coesão e endurecimento do material, e sua fabricação é de acordo com as especificações prescritas pela NBR 16697 (ABNT, 2018); a brita é a principal responsável pela resistência à compressão do compósito,

e pode ter diferentes dimensões, de acordo com a finalidade; a areia ou pó de brita também contribuem para a resistência mecânica, além de propiciar a ligação entre os materiais. Apesar desta ser a configuração mais comum, algumas estruturas podem exigir concretos com aditivos, que são substâncias que propiciam alterações distintas, que incluem desde a variação da resistência mecânica até alteração no tempo de cura (BORGES, 2015).

O aço, por sua vez, é utilizado para barras de seção circular: os vergalhões. Quando vários destes elementos são inseridos no concreto, é formada a armadura (CLÍMACO, 2015). Normalmente utiliza-se o aço CA-50 nas armaduras com maior diâmetro, como nos vergalhões longitudinais de vigas, e o aço CA-60 em locais onde é possível utilizar pequenos diâmetros, como nas lajes e nos estribos (ARAÚJO, 2014).

Por fim, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estipula que as estruturas de concreto armado devem garantir três condições principais: capacidade resistente, que pode ser definida como a segurança em relação à ruptura; desempenho em serviço, que garante que as estruturas não apresentem danos que comprometam o uso; e durabilidade, que especifica a resistência às influências ambientais previstas.

A união destes dois elementos, concreto e aço, é capaz de proporcionar estruturas com boa confiabilidade em relação à segurança, acompanhadas de uma longa vida útil.

### **2.1.2 Elementos das Estruturas de Concreto Armado**

Para a maioria dos edifícios, a estrutura é constituída por um pórtico espacial, disposta ao longo de diversos andares. A concepção final é formada por elementos lineares (vigas e pilares) e por elementos bidimensionais (lajes). A análise tridimensional do sistema final pode ser feita por recursos computacionais, e é perfeitamente viável (ARAÚJO, 2014). É importante salientar que o dimensionamento de lajes, vigas e pilares de concreto armado é sempre realizado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

### 2.1.2.1 Lajes

As lajes são estruturas horizontais com espessura muito inferior à largura e ao comprimento, e fazem a divisão entre cada pavimento. Estes elementos recebem a maior parte dos carregamentos atuantes na estrutura, distribuídos pela superfície, que descarregam em vigas e pilares (BORGES, 2015). Clímaco (2015) traz uma definição semelhante: indica as lajes como placas de concreto de superfície plana, com ações normais atuantes em relação ao seu plano. Segundo Fusco (2013), ao sofrer com a ação de qualquer carregamento, a laje sofre deformações e seus pontos se deslocam.

Antes de realizar o dimensionamento, Souza (2018) disserta que as lajes devem ser pré-dimensionadas, já que este procedimento é essencial para o lançamento da estrutura em qualquer *software*. Das três dimensões das lajes (comprimento, largura e altura), as duas primeiras são conhecidas, já que dependem diretamente do comprimento das vigas, normalmente. A única dimensão que deve ser estimada é a sua altura ( $h$ ), que pode ser calculada por uma divisão do seu menor vão (largura ou comprimento) por 40, para lajes maciças, ou por 20, para lajes nervuradas e pré-fabricadas. Além disso, a dimensão estimada deve ser superior a 7 cm para lajes de pisos comuns, situação encontrada em edifícios residenciais.

Fusco (2013) explica que o dimensionamento de lajes é feito essencialmente em função dos momentos fletores nos planos  $x$  e  $y$  ( $M_x$  e  $M_y$ ) e das forças cortantes nos dois planos ( $V_x$  e  $V_y$ ). Borges (2015) define as mesmas situações, e salienta que o cálculo das placas deve estipular sua espessura, determinar o quantitativo de aço para as armaduras e suas bitolas, conforme parâmetros do ambiente – cargas, condições de estabilidade, materiais e interação com outros elementos. A NBR 6118 (ABNT, 2014) ressalta que as lajes devem ser dimensionadas para Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS).

Clímaco (2015) explica que existem diferentes tipos de lajes, e cada classificação é determinada pelas condições de apoio, com divisão em quatro grupos mais utilizados: lajes apoiadas em vigas, lajes nervuradas, lajes mistas e lajes cogumelo/lisas. O processo mais tradicional de moldagem é para lajes apoiadas em vigas, com transmissão de cargas para estes elementos.

### 2.1.2.2 Vigas

Borges (2015) explica que as vigas são estruturas horizontais que podem sofrer com a atuação de cargas verticais concentradas ou distribuídas ao longo de sua extensão. Normalmente, os elementos são apoiados em pilares, com o descarregamento das cargas para estes elementos. Clímaco (2015) acrescenta que estes elementos são caracterizados por serem solicitados por flexão, predominantemente, em função das cargas distribuídas provenientes de lajes e paredes e cargas concentradas de outras vigas). O comprimento longitudinal é, ao menos, três vezes a maior dimensão da seção transversal.

Souza (2018) explica que o pré-dimensionamento das vigas é semelhante aos procedimentos realizados para as lajes: a estimativa da altura deve ser realizada. O comprimento ( $L$ ) é determinado de acordo com a configuração das paredes e dos ambientes e, se a viga estiver em balanço, adota-se o comprimento do vão livre. Para a largura ( $bw$ ), é convencional adotar a espessura da parede suportada pela viga, excluindo-se o revestimento, e o resultado não pode ser inferior a 12 cm. Para a altura ( $h$ ), os procedimentos são diferentes para cada caso: para vigas bi-apoiadas e sem balanços nas extremidades, divide-se o vão ( $L$ ) por 10, com o arredondamento para o múltiplo de 5 imediatamente superior; para vigas contínuas, divide-se o vão por 12, com o mesmo arredondamento, e a altura pode ser adotada para todo o comprimento da viga; e para vigas em balanço, o comprimento do vão livre pode ser dividido por 5.

Fusco (2013) disserta que o estudo de vigas, em relação aos esforços internos, é semelhante ao das treliças. Para isto, Borges (2015) explica que o cálculo destes elementos consiste em dimensionar a altura e a largura da seção reta, avaliar a quantidade de aço necessária para as armaduras e detalhar as dimensões de cada barra utilizada, conforme condições iniciais (apoios, quantidade de vãos, materiais, interação entre cada vão, condições de estabilidade e pelo carregamento solicitante, que é a principal condicionante). A NBR 6118 (ABNT, 2014) ressalta que as vigas devem ser dimensionadas para Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS).

Borges (2015) explica que existem três tipos de viga: isolada (apenas um vão com dois apoios), contínuas (sustentadas por vários apoios, com dois ou mais vãos) e em balanço (sustentadas por apenas um apoio engastado).

### 2.1.2.3 Pilares

Clímaco (2015) define os pilares como elementos lineares de eixo reto, dispostos verticalmente, com forças de compressão predominantes e que possuem a função de transmitir os esforços para as fundações. Borges (2015) especifica que estes elementos sustentam vigas de teto e/ou outros pilares de andares superiores. Em alguns casos, as lajes também podem descarregar suas cargas diretamente para os pilares – lajes nervuradas e lajes cogumelo. A seção reta destes elementos pode ter qualquer formato, mas geralmente são retangulares ou circulares.

Clímaco (2015) explica que, em pilares de edifícios, estes podem sofrer com compressão simples (momentos fletores desprezados) ou flexão composta (força normal e momento fletor com atuação em conjunto). Para estes elementos, a flexão composta é predominante de maneira absoluta, na maioria dos casos. O dimensionamento destes elementos deve ser para os Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS), conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Souza (2018) disserta que os pilares possuem o pré-dimensionamento um pouco diferente das vigas e das lajes, já que, nestes casos, a altura é conhecida, diferentemente das dimensões da seção transversal. Normalmente, a recomendação é que as duas medidas tenham valores iguais ou superiores a 19 cm, e a maior medida não pode ser maior que o dobro da menor dimensão. Se a área da seção for igual ou superior a 360 cm<sup>2</sup>, é possível adotar uma das dimensões com até 14 cm, em casos especiais. Porém, conforme os pilares dos pavimentos inferiores deverão suportar mais cargas, estes deverão ter seção reta com maiores valores que os pilares dos pavimentos superiores. Para estimar corretamente, é necessário observar as áreas de influência (decorrentes das lajes, com 1000 kgf para cada metro quadrado) e supor que o concreto utilizado será de baixa resistência. Conforme o exemplo abaixo (FIGURA 1), para uma área de influência de 40 m<sup>2</sup> para cada elemento, os pilares devem ser dimensionados individualmente:

Figura 1 - Pré-Dimensionamento de Pilares

EDIFÍCIO					
PAVIMENTO	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PAVIMENTO EM M2	CARGA GERADA PELO PAVIMENTO EM KGF	CARGA ACUMULADA NO TOPO DO PILAR EM KGF	ÁREAS: CARGA/100 KGF/CM2	DIMENSÕES AxB EM CM
COBERTURA	40	20000			
5º TIPO	40	40000	20000	200	20x20
4º TIPO	40	40000	60000	600	20x30
3º TIPO	40	40000	100000	1000	25x40
2º TIPO	40	40000	140000	1400	30x50
1º TIPO	40	20000	180000	1800	40x50
TÉRREO			200000		
FUNDAÇÃO					

Fonte: Adaptado de Souza (2018, p. 1).

Borges (2015) ressalta que o dimensionamento dos pilares é feito de forma semelhante às vigas: especificar a seção reta e as características das armaduras longitudinal e transversal. Fusco (2013) explica que a primeira garante resistência e estabilidade para a estrutura, enquanto a segunda tem a função de impedir a flambagem das barras comprimidas de aço e garantir que a posição das barras longitudinais seja mantida durante a concretagem.

Clímaco (2015) especifica que as estruturas podem possuir três tipos de pilares, com diferenças para o dimensionamento de cada elemento: intermediário (momentos fletores das vigas desconsiderados), extremos (momento fletor da viga apoiada é obrigatoriamente considerado, mas pode haver simplificação de cálculo para compressão centrada) e de canto (cálculo para flexão composta oblíqua).

### 2.1.3 Vantagens e Desvantagens de Edifícios em Concreto Armado

Segundo Botelho e Marchetti (2010), o concreto armado apresenta algumas características interessantes e devem ser levadas em consideração se este for o sistema construtivo adotado. As informações são dispostas no Quadro 1.



Quadro 1 - Vantagens e Desvantagens do Concreto Armado

Vantagens	Desvantagens
Adaptável para vários tipos de formas;	Peso específico elevado (25 kN/m <sup>3</sup> );
Boa resistência para solicitações de compressão;	Resistência à tração é cerca de um décimo da resistência à compressão;
Obtenção de estruturas monolíticas;	Necessário realizar o escoramento das peças enquanto a resistência necessária não for atingida;
Boa resistência para o fogo;	Reparos e adaptações inviáveis, em alguns casos;
Elevada vida útil;	Tempo de execução elevado;
Possibilidade de utilizar peças pré-moldadas;	Gera muitos resíduos durante a execução.
Resistência a choques, efeitos térmicos, vibrações e desgastes mecânicos;	
Custo de manutenção é baixo;	
Mão de obra barata e qualificada.	

Fonte: Botelho e Marchetti (2010).

## 2.2 Estruturas Metálicas

As estruturas metálicas compõem um sistema estrutural seguro, que pode servir de alternativa às estruturas de concreto armado ou, neste caso, associadas com elementos de concreto armado para formar estruturas mistas. Nesta seção serão apresentadas as suas características gerais, componentes estruturais e vantagens e desvantagens em sua utilização.

### 2.2.1 Características Gerais

Segundo Pfeil e Pfeil (2016), para a construção de edifícios, é possível associar diferentes perfis metálicos para a composição de um sistema estrutural muito seguro

e tão eficiente quanto o sistema em concreto armado. A partir da década de 1940, a associação de perfis metálicos com elementos em concreto armado se tornou mais comum, caracterizando elementos mistos. Queiroz, Pimenta e Martins (2012) explicam que um sistema misto é caracterizado por um conjunto de estruturas mistas, e são sistemas muito utilizados na construção de edifícios e pontes.

Segundo Dias (2002), o aço é uma liga metálica, formada predominantemente por ferro e pequenas quantidades de carbono, o que lhe confere resistência e ductilidade, que são muito importantes na Engenharia Civil. O produto final é obtido após a eliminação das impurezas e colocadas algumas adições, como o silício, manganês, fósforo e enxofre, para garantir as características desejadas. Pfeil e Pfeil (2016) ressaltam que maiores quantidades de carbono tornam o aço mais resistente, porém mais frágil. As resistências à ruptura por tração ou compressão variam entre 300 MPa e 1200 MPa, em função dos diferentes tipos de aços-carbono.

Pfeil e Pfeil (2016) explicam que os aços mais utilizados para lajes, vigas e pilares, no Brasil, são os classificados como “baixa liga”, como o ASTM 572 GRAU 50. Esta categoria apresenta média ou alta resistência mecânica, é soldável e possui excelente resistência atmosférica (com a adição de cobre), com limite de escoamento na ordem de 345 MPa e 450 MPa para a resistência à ruptura. A NBR 8800 (ABNT, 2008) ressalta que os aços estruturais devem apresentar limite de escoamento máximo na ordem de 450 MPa, e a relação entre a resistência de ruptura e o limite de escoamento não deve ser inferior a 1,18.

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), o aço apresenta elevada massa específica ( $7850 \text{ kg/m}^3$ ) com um elevado módulo de elasticidade (200 000 MPa). Além disso, possui coeficiente de dilatação térmica com valor semelhante ao concreto armado, o que torna possível a associação destes dois materiais. Caso contrário, a estrutura final apresentaria muitas fissuras, que poderiam comprometer o desempenho desejado.

Dias (2002) ressalta que, para efeitos de dimensionamento, é importante utilizar estruturas de contraventamento, em forma de barras inclinadas interligadas entre os nós das estruturas, que possuem articulações.

Pfeil e Pfeil (2016) explicam que, no Brasil, são muito utilizados perfis “W” (perfis “I” com espessura das abas constante), fabricados com altura de até 610mm.

## **2.2.2 Elementos das Estruturas Metálicas**

Em relação aos elementos estruturais deste sistema, a composição é formada por vigas e pilares, diferentemente das estruturas de concreto armado, já que as lajes são de concreto armado. O dimensionamento das estruturas metálicas é feito de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008). Quando um perfil de aço tem concreto incorporado e seu comportamento é monolítico, os elementos são chamados de mistos, sendo utilizados conectores de cisalhamento para garantir esta interação.

### **2.2.2.1 Vigas Mistas/Metálicas**

Segundo Dias (2002), as vigas metálicas são formadas por duas mesas, com grande afastamento, interligadas por uma alma de menor espessura, conhecidos como perfis “I”. Estes perfis, por própria geometria, possuem excelente capacidade para resistir aos esforços de tração e compressão. Pfeil e Pfeil (2016) explicam que, para trabalhos de flexão, é melhor utilizar perfis que possuem maior inércia no plano e, justamente, os perfis que melhor atendem estas características são em formato “I”. Por outro lado, os autores ressaltam que devem ser observadas as limitações em relação à flambagem.

Em relação aos esforços, Pfeil e Pfeil (2016) explicam que a resistência das vigas à flexão, que são os principais esforços atuantes, pode ser reduzida em função da flambagem local das chapas. Desta forma, é conveniente utilizar estruturas biapoiadas para este tipo de sistema, de forma a atenuar esforços que podem causar cisalhamento. Se os esforços forem demasiados, convencionou-se a utilização de enrijecedores de alma. A NBR 8800 (ABNT, 2008) explica que as contenções de uma viga devem impedir o deslocamento relativo das mesas superior e inferior, além de uma contenção que impeça o deslocamento lateral.

Dias (2002) sugere, para efeitos de dimensionamento, a altura das vigas metálicas com valores entre  $1/14$  a  $1/20$  do vão, para vãos de 8 a 30 metros, e de  $1/20$  até  $1/25$  do vão para comprimentos entre 4,5 e 18 metros.

### 2.2.2.3 Pilares Mistos/Metálicos

Segundo Pfeil e Pfeil (2016), assim como as vigas metálicas, os pilares metálicos também podem ser compostos por perfis “I” de mesmas características.

A grande diferença entre vigas e pilares neste sistema é em relação aos esforços: Pfeil e Pfeil (2016) ressaltam que estes pilares metálicos sofrem, principalmente, com esforços de compressão axial. O efeito tende a causar um deslocamento lateral que é conhecido como flambagem por flexão. Este efeito diminui a capacidade de carga da peça de forma muito mais significativa que em vigas. Também pode ocorrer flambagem local, assim como nos elementos horizontais.

### 2.2.3 Vantagens e Desvantagens de Edifícios em Estrutura Mista

Segundo CBCA (2018) e Queiroz, Pimenta e Martins (2012), as estruturas mistas possuem algumas características importantes, que devem ser levadas em consideração ao escolher este sistema como solução estrutural, principalmente em comparação às estruturas de concreto armado. As informações são dispostas no Quadro 2.

Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens de Estruturas Mistas

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de dispensa de formas e escoramentos;	Elevado consumo de aço estrutural;
Redução do prazo de execução;	Maior necessidade de proteção contra incêndio e corrosão;
Diminuição do peso próprio e volume estrutural;	Menor rigidez estrutural.
Redução de custos nas fundações;	
Maior precisão dimensional;	
Maior flexibilidade para a compatibilização de projetos;	
Menor dano ao meio-ambiente;	
Liberdade no projeto arquitetônico.	

Fonte: CBCA (2018) e Queiroz, Pimenta e Martins (2012).

## 2.3 Carregamentos

Neste item, serão apresentadas as condições necessárias para realizar as estimativas de carregamentos atuantes sobre as estruturas. Estas podem ser divididas em grupos principais de ações: permanentes, variáveis e excepcionais. A principal Norma regulamentadora é a NBR 6120 (ABNT, 1980).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) ressalta que, com os carregamentos corretos, é possível determinar os efeitos em uma estrutura, de forma a definir as distribuições dos esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos em parte ou em toda concepção estrutural.

Clímaco (2015) ainda ressalta que as simplificações dos carregamentos não devem perder de vista o comportamento real da estrutura. Desta forma, após aplicar as cargas sobre o modelo estrutural proposto, deve-se avaliar o seu comportamento para que esteja adequado e compatível com a estrutura final.

As ações excepcionais, que são provenientes do choque de veículos e abalos sísmicos, por exemplo, não serão consideradas para a estrutura projetada neste trabalho. Desta forma, serão apresentadas apenas as ações permanentes e variáveis.

### 2.3.1 Ações Permanentes

Martha (2010) explica que as cargas permanentes têm posição fixa na estrutura e atuam durante toda a vida útil, podendo ser diretas (peso próprio, peso dos elementos construtivos e das instalações permanentes) ou indiretas (deformações por fluência do concreto, deslocamentos do apoio, imperfeições geométricas e protensão). As informações são dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Pesos Específicos dos Materiais Utilizados

Materiais	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )
Concreto Armado	25
Aço	78,5
Tijolos Furados	13
Argamassa (Cal, Cimento e Areia)	19

Fonte: ABNT (1980, p. 2).

Segundo Clímaco (2015), o peso próprio de uma laje é considerado como uma carga distribuída uniformemente na superfície do elemento, enquanto o peso próprio de uma viga pode ser definido como um carregamento distribuído linearmente. Para cargas de laje sobre vigas que fornecem apoio para esses elementos, também é admitido como uma carga uniformemente distribuída. Pilares têm seu peso próprio considerado como uma carga pontual.

### 2.3.2 Ações Variáveis

As ações variáveis, segundo a NBR 6120 (ABNT, 1980), são cargas decorrentes do uso. Nesta categoria são incluídas as pessoas, veículos, materiais e qualquer elemento que não é fixo. Os valores coletados, para este tipo de ação, foram dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Cargas Variáveis Por Ambiente

Ambiente	Carga (kN/m <sup>2</sup> )
Cozinhas, banheiros, salas, copas e dormitórios;	1,5
Despensas, áreas de serviço e lavanderias;	2

Fonte: ABNT (1980, p. 3).

Blessmann (1995) ainda inclui o vento como ação variável, e explica que o principal interesse para a engenharia estrutural é conhecer a velocidade média deste fenômeno da natureza e suas respectivas flutuações (rajadas).

Martha (2010) explana que a posição das cargas acidentais (variáveis) influencia na determinação das solicitações internas para dimensionamento, e também são divididas entre diretas (cargas acidentais previstas, vento, água e ações variáveis durante a construção) e indiretas (variação de temperatura e ações dinâmicas). A NBR 8681 (ABNT, 2003), ainda define que estas cargas variáveis devem ser identificadas como combinações de serviço quase permanentes, frequentes ou raras, com diferentes metodologias de cálculo para as três situações. A estimativa correta é fundamental para obter as envoltórias limites de esforços internos, que resultam nos valores máximos e mínimos de cada esforço (momento fletor, esforços cortante e normal), por meio de interpolação entre cada seção transversal da estrutura.

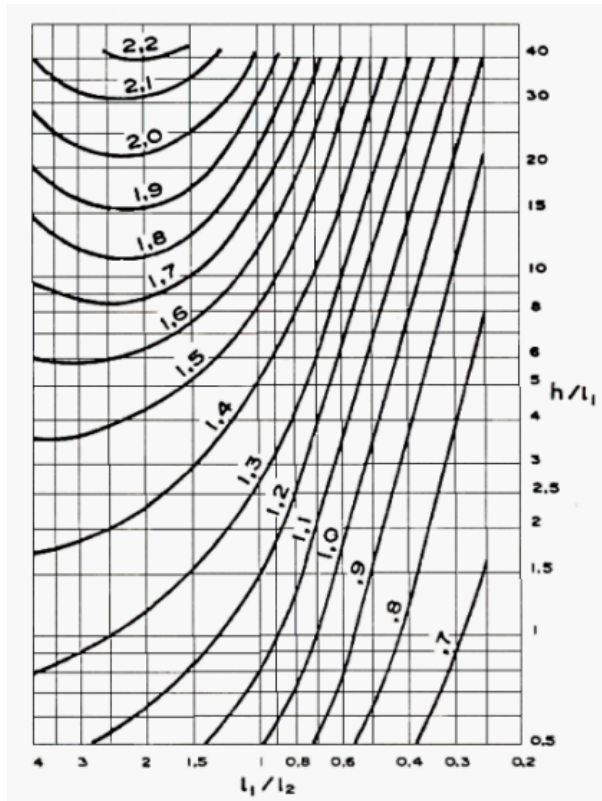
Conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988), o cálculo dos ventos deve ser feito separadamente para os elementos de vedação e fixações, partes da estrutura e a estrutura final. Especifica-se que as estruturas que possuem pouca ou nenhuma continuidade estrutural são as principais condicionantes para a consideração da carga do vento, e o cálculo é diferente para cada tipo de elemento (torres, treliças, lajes e vigas possuem dimensionamentos diferentes, por exemplo).

Na engenharia estrutural, os ventos são considerados como turbilhões de dimensões diversas com superposição e, desta forma, no limite da camada atmosférica, a velocidade média varia entre nulo (superfície terrestre) até a velocidade gradiente (altura gradiente). Por esta classificação, verifica-se que a velocidade dos ventos nos centros urbanos é maior que em campo aberto (BLESSMANN, 1995).

Por fim, o *software* de análise estrutural necessita da determinação de alguns coeficientes em relação à influência do vento sobre a edificação, com procedimentos dispostos na NBR 6123 (ABNT, 1988): coeficiente de arrasto ( $C_a$ ), fator topográfico ( $S_1$ ), rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno ( $S_2$ ), fator estatístico ( $S_3$ ) e a velocidade básica do vento ( $V_0$ ).

O coeficiente de arrasto ( $C_a$ ), conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988), é determinado a partir da incidência do vento sobre as faces da estrutura e suas três dimensões principais: altura ( $h$ ), comprimento ( $l_1$ ) e largura ( $l_2$ ). Segundo Pravia (2006), este coeficiente é usado para a avaliação da força global na estrutura. A partir de uma relação entre a altura e o comprimento ( $h/l_1$ ) e comprimento e largura ( $l_1/l_2$ ), é possível determinar o coeficiente de arrasto na Figura 2, que deve variar entre 0,7 e 2,2.

Figura 2 - Coeficiente de Arrasto ( $C_a$ )



Fonte: ABNT (1988, p. 20).

Segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988), o fator topográfico ( $S_1$ ) é determinado a partir de características relativas ao terreno onde a estrutura será construída, com diferentes procedimentos para cada tipo de relevo. Para terrenos planos, como o local onde a estrutura será estudada, o valor adotado deve ser  $S_1 = 1,0$ .

O fator da rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno ( $S_2$ ) é determinado a partir das características que compõem seu nome, segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988). Quanto maior a rugosidade do solo e maiores os obstáculos presentes na superfície, o ar terá maior agitação, e por isto é feita uma divisão em cinco categorias de condições para o vento, entre I (mais amena) e V (pior condição), sendo que, para a edificação em estudo, será considerada a categoria IV, que configura uma cidade pequena ou um subúrbio densamente construído. Para as dimensões da edificação, é feita uma divisão em três classes distintas: A, B e C, com determinação a partir da maior medida da superfície frontal ( $A < 20$  m;  $20$  m  $< B < 50$  m;  $C > 50$  m). Para o estudo, como há variação entre 8 andares e 16 andares, será considerada a Classe B. Por fim, com estas informações, é possível determinar os valores necessários para o fator  $S_2$  por meio de valores dispostos na Figura 3.



Figura 3 - Fator  $S_2$ 

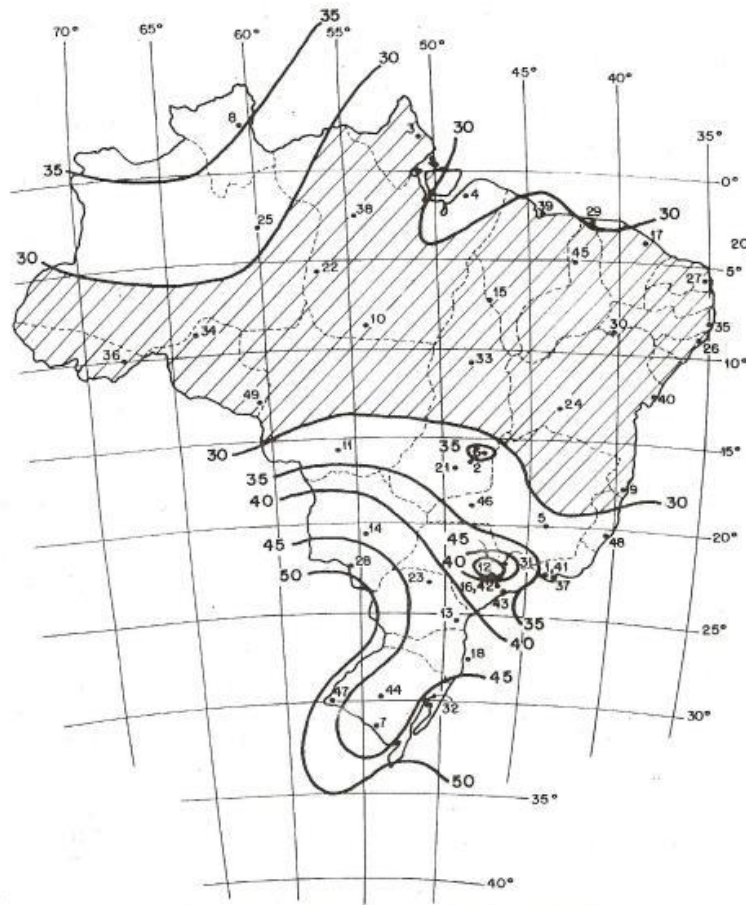
z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: ABNT (1988, p. 10)

O fator estatístico ( $S_3$ ) é determinado a partir de conceitos estatísticos, vida útil da edificação e o grau de segurança requerido, conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988). Desta forma, os dados são dispostos em tabela para diferentes categorias, de acordo com o tipo de construção. Para hotéis e residências, determina-se que  $S_3 = 1,0$ .

A velocidade básica do vento pode ser definida como a velocidade de uma rajada medida em 3 segundos, a 10 metros acima do terreno, normalmente superada apenas uma vez em um intervalo de 50 anos, segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988). Por convenção, admite-se que o vento pode soprar de qualquer direção horizontal. A Figura 4 ilustra as velocidades básicas do vento no Brasil, e verifica-se que  $V_0 = 44\text{m/s}$  para a região central do Rio Grande do Sul.

Figura 4 - Velocidades do Vento Básico no Brasil



Fonte: ABNT (1988, p. 6).

### 2.3.3 Estados Limites

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), ao realizar qualquer análise estrutural, devem ser consideradas todas as influências externas que possam afetar a segurança da estrutura. Para isso, deve ser analisada a resistência das estruturas em relação à ruína (Estados Limites Últimos) e durante sua utilização (Estados Limites de Serviço).

#### 2.3.3.1 Estados Limites Últimos (ELU)

Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2003), o Estado Limite Último está relacionado ao colapso ou ruína estrutural, de forma que a estrutura seja paralisada em relação ao uso. Para esta característica, adequam-se:

- a) quando uma estrutura (corpo rígido) apresenta perda de equilíbrio global ou parcial;
- b) materiais com deformação plástica excessiva ou ruptura;
- c) quando a estrutura é transformada em um sistema hipostático (total ou parcial);
- d) instabilidade causada por deformação;
- e) instabilidade dinâmica.

Clímaco (2015) explica que, quando qualquer estrutura atinge o Estado Limite Último (ELU), sua capacidade resistente é esgotada e a utilização posterior será possível somente após a realização de obras de reparo, reforço ou substituição da estrutura.

A NBR 8681 (ABNT, 2003) ressalta que devem ser utilizados coeficientes de segurança ao realizar o dimensionamento das estruturas em relação ao Estado Limite Último, sendo que estes são característicos para as ações permanentes, ações diretas variáveis, protensão e efeitos de deformação. As ações variáveis também possuem diferentes coeficientes de ponderação, que dependem diretamente do tipo de ação que será analisada (vento, temperatura, ações truncadas ou outras ações variáveis).

Por consideração essencial, a NBR 8681 (ABNT, 2003) determina que, para uma estrutura estar segura em relação aos Estados Limites Últimos, o valor de cálculo para o esforço resistente de cada ação ( $R_d$ ) deve ser superior ao valor de cálculo para o esforço atuante de cada ação ( $S_d$ ). Estes fatores dependem diretamente das propriedades dos materiais, geometria da estrutura, incertezas em relação ao método de cálculo e as constantes empregadas. A combinação destes fatores origina os seguintes critérios específicos, conforme disposto no Quadro 3.

Quadro 3 - Condições do Estado Limite Último

Ações		Descrição
Permanentes		Devem ser consideradas em todos os conjuntos de ações;
Variáveis (apenas situações desfavoráveis para a segurança)	Normais	Para cada combinação última, uma ação variável é considerada como a principal, enquanto as outras são consideradas como secundárias e devem sofrer redução no seu valor característico;
	Especiais	Quando houver, a ação variável deve ser considerada com valor característico e as ações variáveis devem ser consideradas com probabilidade não-ínfima de ocorrência para atuação simultânea com a ação de combinação especial.
	Excepcionais	Quando houver, a ação variável excepcional deve ser considerada com seu valor característico e as demais ações devem ser consideradas para grande possibilidade de simultaneidade com a ação de combinação excepcional.

Fonte: ABNT (1988).

### 2.3.3.2 Estados Limites de Serviço (ELS)

A NBR 8681 (ABNT, 2003) define o Estado Limite de Serviço como uma relação para a durabilidade das estruturas, aparência, conforto e utilização funcional adequada destes elementos, seja em relação aos usuários ou máquinas acomodadas. Como caracterização deste Estado, geralmente são considerados:

- a) comprometimento estético da construção ou sua durabilidade, por meio de danos localizados;
- b) deformações excessivas com comprometimento estético ou para sua utilização adequada;
- c) vibração excessiva ou desconfortável.

Clímaco (2015) explica que, quando qualquer estrutura atinge o Estado Limite de Serviço (ELS), há um desempenho fora dos padrões especificados para a

utilização normal da edificação, mas sem risco iminente de ruína, como ocorre no ELU.

A NBR 8681 (ABNT, 2003) ressalta que, em relação ao Estado Limite de Serviço, são convencionadas três combinações de serviço principais: quase permanentes, frequentes e raras, conforme pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4 - Condições do Estado Limite de Serviço

Combinações	Descrição
Quase Permanentes	Podem atuar durante boa parte da vida útil da estrutura (cerca de metade do período). Nas combinações quase permanentes, são considerados o peso próprio da estrutura e as ações variáveis são estimadas com valores quase permanentes;
Frequentes	Se repetem muitas vezes durante a vida útil, com pelo menos 5% do tempo total. Nas combinações frequentes, são considerados o peso próprio e a ação variável principal é considerada com seu valor frequente, enquanto as variáveis secundárias são calculadas com valores quase permanentes;
Raras	São atuantes por apenas algumas horas na vida útil da estrutura. Nas combinações raras, são considerados o peso próprio e a ação variável principal é considerada com seu valor característico, enquanto as outras variáveis são consideradas com seus valores frequentes de serviço.

Fonte: ABNT (2003).

## 2.4 Modelagem de Edifícios em Softwares

Segundo Kimura (2007), hoje possuímos programas completos que permitem análises realistas do comportamento das estruturas, e isto facilita o detalhamento das mesmas. Por isto, o autor recomenda que o engenheiro de estruturas consiga visualizar diferentes possibilidades para modelagem, além de suas vantagens e deficiências. Desta forma, os diferentes procedimentos e as inúmeras equações

apresentadas para cálculo de cada elemento estrutural podem ser simplificados com o auxílio destes *softwares*, sem a necessidade de uma infinidade de processos manuais. Além de possuírem excelente precisão, conseguem propiciar grande economia de tempo na maioria dos casos. Os benefícios propiciados pelo uso dos computadores para os projetos estruturais não podem ser ignorados.

Martha (2010) explica que a adoção de um sistema tridimensional único é interessante para a análise estrutural, já que os efeitos dos carregamentos externos e de ligação dos elementos estruturais podem ser considerados. O autor salienta que esta análise é simplificada com o uso de programas de computador, o que não seria simples, se realizado manualmente. Por outro lado, os *softwares* podem acarretar altos custos de aquisição para o engenheiro projetista.

#### **2.4.1 Tipos de Software**

Kimura (2007) explica que existem diferentes tipos de *software* para a elaboração de projetos estruturais: programas de análise, programas de desenho, programas de dimensionamento e sistema integrado. Os programas de análise realizam a verificação de esforços e deslocamentos de uma estrutura, mas não realizam o dimensionamento das armaduras ou plantas finais. Por estas características, são excelentes para projetos de estruturas de grande porte. Os programas de desenho geram desenhos genéricos, sem exclusividade para a Engenharia Civil. A plataforma CAD é um bom exemplo para esta categoria. Os programas de dimensionamento realizam a verificação de elementos isolados da estrutura, e são ideais para verificações rápidas. Por fim, os sistemas integrados verificam todas as etapas do projeto, sendo esta a categoria mais utilizada para projetar edifícios.

Segundo Carmo (2001), a utilização de um sistema com plataforma CAD é a única forma de manter a competitividade no mercado. Por outro lado, além de agilizar os processos, também exige maior capacidade de interpretar erros de projeto. Essa transformação tornou a elaboração muito mais dinâmica.

Kimura (2007) ainda ressalta que é importante verificar os resultados emitidos pelo computador por meio de contas simples, ensinadas durante a graduação em Engenharia Civil. Desta forma, o engenheiro mantém o controle do projeto sem dúvidas em relação à estabilidade estrutural, porque qualquer valor apresentado pelo

*software* deve possuir uma explicação. Os inúmeros recursos gráficos devem ser utilizados para averiguar como a estrutura está modelada no computador, já que grande parte dos erros em projetos estruturais são provenientes de falhas durante a entrada de dados no sistema, que são desde valores definidos em unidades erradas até critérios equivocados.

O CAD/TQS é um *software* de sistema integrado muito utilizado para a elaboração de projetos estruturais em concreto armado, protendido e alvenaria estrutural. Além disso, possui plataforma para a elaboração de projetos em estrutura mista de aço-concreto. É desenvolvido pela TQS Informática LTDA, e já está há mais de 20 anos de trabalho com foco na área de Engenharia de Estruturas.

O desenvolvimento do programa está de acordo com as principais normas necessárias para o desenvolvimento de projetos estruturais, e é uma solução completa e definitiva para a elaboração destes documentos com qualidade e segurança (CAD/TQS, c2019).

#### **2.4.2 Procedimentos**

Kimura (2007) explica que o projeto estrutural de um edifício envolve certas particularidades e pode ser definido como um trabalho diferenciado, já que exige conhecimento teórico e prático, grandes responsabilidades, inúmeros desafios e é um trabalho que necessita de esforço intelectual dos engenheiros. O autor ressalta que deverão ser feitas 4 etapas principais para verificação no CAD/TQS: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento e emissão de plantas. Para a concepção estrutural, devem ser definidos os materiais e a realização de pré-dimensionamento dos elementos, além das ações sobre a estrutura. Os sistemas dispõem lançamento 100% gráfico, visualização 3D e geração automática de carregamentos, e o engenheiro deve escolher a solução mais adequada para cada caso. Na etapa de análise estrutural, são calculados os efeitos das cargas sobre a estrutura, desde os deslocamentos até os esforços solicitantes, por meio de um modelo para simulação. Na terceira etapa, dimensionamento e detalhamento, o processo é automatizado, com a caracterização de todos os elementos, de acordo com as solicitações calculadas durante a análise. Devem ser verificados os modelos, pois existem condições especiais que podem não ser consideradas pelo *software*. Por

fim, é feita a emissão de plantas, outra etapa automatizada. Contém os desenhos e especificações de como executar a estrutura na obra.

Martha (2010) especifica que a etapa mais importante é a análise estrutural, já que é nesta parte que a maioria dos erros de projeto acontecem. O autor explica que, atualmente, essa avaliação é feita apenas com o uso de computador, mesmo para estruturas mais simples.

Por fim, o sistema irá gerar relatórios importantes, como a distribuição de carga no edifício, as reações obtidas, cargas médias, taxas de consumo de aço, concreto e forma, além dos parâmetros de instabilidade global (deslocamentos no topo do edifício e as flechas nos pavimentos). Desta forma, é possível realizar uma análise completa em relação ao comportamento estrutural (KIMURA, 2007).

Segundo Kimura (2007), ao utilizar o *software* CAD/TQS, as 4 etapas principais podem ser divididas em 20 etapas básicas para a elaboração do projeto estrutural, conforme a disposição abaixo, em ordem:

- a) etapa 1 - definir a estrutura, eleger os elementos mais importantes e prever seu comportamento;
- b) etapa 2 - revisar os dados de entrada, com atenção especial para as unidades dos valores definidos;
- c) etapa 3 – rever critérios de projeto, que são a solução para um projeto excelente;
- d) etapa 4 - conferir dados geométricos (comprimento dos vãos, área dos pavimentos e altura da edificação, por exemplo);
- e) etapa 5 - definir a classe de agressividade ambiental corretamente e, desta forma, verificar se os cobrimentos estão adequados;
- f) etapa 6 - conferir se todas as ações no edifício foram definidas, por meio de conferência no Estado Limite Último (ELU) e no Estado Limite de Serviço (ELS);
- g) etapa 7 - realizar estimativa total de cargas horizontais e verticais (valores e quantidade final);
- h) etapa 8 - conferir se a somatória de cargas é semelhante à somatória de reações;
- i) etapa 9 - verificar se as cargas nos pavimentos estão de acordo;



- j) etapa 10 - analisar se as cargas serão descarregadas corretamente para as fundações, por conferência na planta de cargas;
- k) etapa 11 - visualizar a estrutura deformada conforme as ações aplicadas;
- l) etapa 12 - verificar o  $\gamma_z$ , que define a estabilidade global da estrutura;
- m) etapa 13 - conferir a distribuição dos esforços entre cada elemento da estrutura final;
- n) etapa 14 - conferir os elementos com as piores solicitações (mais importantes);
- o) etapa 15 - verificar se os deslocamentos horizontais e verticais estão com valores esperados;
- p) etapa 16 - quando necessário, utilizar análises mais realistas para o cálculo de flechas em pavimentos (laje não-linear) e conferir o comportamento da estrutura para vibrações e fissurações;
- q) etapa 17 - verificar esforços efetivamente utilizados para dimensionamento de armaduras, nos elementos mais importantes;
- r) etapa 18 - conferir as taxas de armadura nos elementos principais. Se estiverem muito próximas da mínima, é um sinal para a possibilidade de fazer uma redução. Se estiverem próximas do máximo, é mais interessante aumentar as dimensões e propiciar economia com as armaduras;
- s) etapa 19 - verificar se o consumo final de armaduras está nos limites esperados;
- t) etapa 20 - verificar se a distribuição das armaduras está de acordo com a localização esperada.

É importante salientar que os projetos estruturais podem ter outras etapas durante a sua concepção, mas este pode ser definido como um esboço básico para a verificação dos resultados.

### **2.4.3 Vantagens**

Kimura (2007) ressalta que o uso de uma ferramenta computacional traz enormes vantagens, se usada com responsabilidade. Além de melhorar a produtividade, acrescenta qualidade e segurança com as simulações de um mesmo projeto, com o resultado de uma estrutura muito mais eficiente e otimizada, quando

comparada com procedimentos manuais. Porém, para isto, o sistema deve estar em concordância com os conceitos observados na área da Engenharia Civil, de forma que não devemos esquecer que é uma ferramenta auxiliar e a decisão final sempre será do engenheiro projetista.

## **2.5 Custos**

Segundo Ramos (2002), a estrutura representa em torno de 22% do custo total da obra. O autor disserta que, para o comprador, vigas, lajes e pilares não despertam a atenção esteticamente. Desta forma, quanto menor for o custo da estrutura, se as condições de segurança forem atendidas, pouco importará o sistema estrutural adotado para o comprador. Por isto, Pinheiro e Crivelaro (2014) determinam que o sucesso de um empreendimento depende diretamente do orçamento, já que quantifica a mão de obra, materiais, máquinas, ferramentas e equipamentos, em função do tempo decorrido e existem várias formas de quantificá-lo: pode ser elaborado por estimativa, a partir do projeto inicial de arquitetura, com 20% de margem de erro; preliminar, com base em todos os projetos componentes, em fase inicial, com 10 % de margem de erro; e executivo, com base em todos os projetos e memoriais descritivos, com 5% de margem de erro. O terceiro método será utilizado para cálculo de custo do projeto estrutural.

O orçamento executivo pode ser calculado por multiplicação de dois fatores, segundo Pinheiro e Crivelaro (2014): a planilha de custo unitário (indica o valor unitário de cada serviço) e o levantamento quantitativo dos serviços (quantidade de serviço necessária para a execução da obra). Segundo Tisaka (2006), o total de todas as multiplicações é chamado de custo direto (CD), que são fundamentais para o preço de venda, em que são acrescentadas as despesas indiretas (benefício e custos indiretos – BDI). Na pesquisa, serão abordados apenas os custos dos materiais para confecção da estrutura, sem consideração dos custos de mão de obra e dos equipamentos necessários, além das despesas indiretas.

Segundo Pinheiro e Crivelaro (2014), o principal indicador para preços da construção civil, no Brasil, é o custo unitário básico (CUB). É divulgado até o dia 5 de cada mês, e determina o preço de cada serviço comum em obras de engenharia. Outro excelente indicativo é o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que traz informações detalhadas para cada material

utilizado na área da construção civil. Para o consumo de cada fator (material e mão de obra), Tisaka (2006) ressalta que o processo mais usual, no Brasil, é a consulta da Tabela de Composição de Preços (TCPO), onde há a informação de parâmetros quantitativos e horas necessárias para a execução dos serviços mais importantes na construção civil. A composição é fornecida pela empresa PINI mensalmente e, a partir destes dois fatores, é possível determinar o preço de venda e o lucro possível para cada edificação. Como alternativa para a pesquisa de preços, é interessante realizar levantamento de custos com empresas da região, que também pode ser uma solução alternativa. Um exemplo de planilha de custos diretos pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Planilha de Custos (Exemplo)

Código	Descrição	Un.	Quant.	MO	Material	P. Unit.	Subtotal
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>							
01.01	Escavação Manual até 1,5 m	m³	4,50	11,29	-	11,29	50,80
01.03	Broca de concreto D = 25 cm	mL	29,30	9,98	12,34	22,32	653,97
02.05	Concreto Fck = 25 MPa	m³	8,53	59,53	166,89	226,42	1931,36
02.06	Forma de madeira	m²	28,18	11,17	12,35	23,52	662,79
03.01	Aço CA-50	Kg	241,47	1,02	2,24	3,26	787,19
03.07	Laje Pré-fabricada E = 12cm	m²	57,50	4,95	32,93	37,88	2178,10
04.02	Alvenaria de tijolo barro E-15	m²	76,80	16,10	11,58	27,68	2125,82
05.03	Porta de madeira L = 82 cm	Un	3,00	63,57	199,85	263,42	790,26
06.06	Caixilho de ferro basculante	m²	12,34	9,92	148,65	158,57	1956,35
07.03	Tesouras p/ telha francesa	m²	98,00	12,69	29,75	42,44	4159,12
07.09	Telha de barro francesa	m²	98,00	7,23	8,64	15,87	1555,26
08.10	Tubo de PVC de 40mm	mL	23,00	8,89	2,63	11,52	264,96
08.14	Registro de gaveta 25 mm	Un	2,00	6,01	12,26	18,27	36,54
09.05	Fio de cobre de 4 mm²	mL	38,00	0,62	0,54	1,16	44,08
09.25	Luminária c/ 4 lâmpadas	Un	6,00	11,70	154,62	166,32	997,92
10.04	Piso de cerâmica PI-5	m²	75,00	5,87	19,55	25,42	1906,50
10.07	Revestimento de azulejo	m²	13,67	13,65	21,34	34,99	478,31
11.13	Pintura Látex 3 demãos	m²	148,00	4,49	2,99	7,48	1107,04
<b>ADMINISTRAÇÃO LOCAL</b>							
11.14	Pessoal indireto da obra	Mês	3,00				8530,00
11.15	Despesas de manutenção	Mês	3,00				2356,00
<b>CANTEIRO DE OBRAS</b>							
11.16	Instalação	Vb					4500,00
<b>MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO</b>							
11.17	Custos de mobilização	Vb					1000,00
	Custos de desmobilização	Vb					1800,00
<b>CUSTO DIRETO (TOTAL)</b>							<b>39872,37</b>

Fonte: Tisaka (2006, p. 49)

### 2.5.1 Custo de Estruturas de Concreto Armado

Segundo Tisaka (2006), para calcular o custo convencional de estruturas de concreto armado, deve-se multiplicar o volume convencional pelo preço do metro cúbico do concreto armado. Ramos (2002), por outro lado, disserta que o processo mais usual, para estruturas de concreto armado, inclui a determinação do custo

unitário do volume das lajes, peso das armaduras e a área das formas das lajes, vigas e pilares. A partir do quantitativo dos materiais, deve-se multiplicar o consumo pelo preço correspondente para cada componente. A utilização de *softwares* como o CAD/TQS é interessante para auxiliar na determinação da quantidade dos materiais, já que o programa consegue realizar esta estimativa por conta própria, sendo necessário apenas o fornecimento dos preços dos componentes utilizados.

Ramos (2002) especifica algumas condições que, se forem respeitadas, trazem economia para projetos estruturais em concreto armado: distância econômica entre pilares (se for muito elevada, as peças serão muito robustas); padronização de seção para vigas e pilares (diferentes seções exigem diferentes tipos de forma); e, se possível, evitar o uso de vigas de transição (por serem reforçadas, são muito caras) e elementos em balanço (exigem mais forma, concreto e armação).

### **2.5.2 Custo de Estruturas Mistas**

As estruturas mistas são calculadas de forma um pouco diferente, segundo Tisaka (2006). Como a composição do sistema é formada por concreto e aço, as estruturas de concreto e as armaduras são calculadas com as mesmas composições dispostas no item anterior, com exceção dos perfis utilizados. Para calcular o custo do material, deve-se multiplicar o comprimento estimado pela massa do perfil por metro (em Kg/m), sempre caracterizado pelo sufixo do perfil: por exemplo, para um perfil W 360x64, a massa linear é de 64Kg/m. Desta forma, é descoberta massa utilizada de cada perfil e, posteriormente, multiplicada pelo preço do quilo de aço para a estrutura metálica fabricada, pintada com uma camada de primer anticorrosivo. Além disso, catálogos de empresas especializadas, como a Gerdau, e revistas de engenharia também divulgam o preço de perfis periodicamente.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi necessário realizar uma sequência de etapas, definidas igualmente para as estruturas de concreto armado e para as estruturas mistas compostas por pilares e vigas metálicas e laje de concreto. Desta forma, é possível determinar qual situação é mais interessante financeiramente.

#### 3.1 Definição do Projeto Arquitetônico

Na primeira etapa, foram definidas as características arquitetônicas da estrutura concebida. Desta forma, a mesma é composta por um pavimento-tipo em todos os andares, e cada andar tem dois apartamentos de mesmas dimensões e ambientes. As características de cada apartamento são dispostas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características dos Ambientes

Nome do Ambiente	Dimensões (m)	Área Total (m²)
Banho	1,3 x 2,85	3,71
Cozinha	2,5 x 4	10,00
Dormitório 1	3,5 x 4	14,00
Dormitório 2	4 x 4	16,00
Sala de Estar/Jantar	6,45 x 4	25,80

Fonte: do autor (2019).

Entre os dois apartamentos, há uma pequena área de acesso com uma escada e um elevador, para maior comodidade dos residentes. Este ambiente possui 10,78m² de área total. A planta do pavimento-tipo pode ser observada no Apêndice A, e tem

área total de 200,81m<sup>2</sup>. A maior dimensão vertical mede 8,65m, enquanto a maior dimensão horizontal mede 25,37m.

A localização do modelo estudado é hipotética e idealizada para uma cidade com as características dos bairros residenciais de Lajeado/RS.

### 3.2 Procedimentos no *Software* CAD/TQS

Após a definição do projeto arquitetônico, a maior parte do projeto foi desenvolvida no *software* CAD/TQS. Como este programa é essencial para dar andamento ao projeto, foi solicitado para a desenvolvedora do programa (cTQS) uma licença para 6 meses de uso, com início em julho de 2019 e término para dezembro do mesmo ano. A empresa cedeu a licença completa do programa, com os módulos para projeto de estruturas de concreto armado e para projeto de estruturas mistas aço-concreto.

O *software* CAD/TQS foi utilizado para etapas que incluem o desenvolvimento completo dos modelos estruturais, além de realizar a análise do modelo e quantificar os materiais necessários para a confecção dos elementos.

#### 3.2.1 Desenvolvimento dos Modelos

Nesta etapa, foram desenvolvidos os dois sistemas estruturais (estruturas de concreto armado e estruturas mistas), com variação para três números de pavimentos (8, 12 e 16). A Tabela 5 demonstra as propostas abordadas na pesquisa.

Tabela 5 - Modelos Elaborados

Modelo	Sistema Estrutural	Número de Pavimentos	Altura (m)
8-CONC	Estruturas de Concreto Armado	8	24
12-CONC	Estruturas de Concreto Armado	12	36
16-CONC	Estruturas de Concreto Armado	16	48
8-MIST	Estruturas Mistas Aço-Concreto	8	24
12-MIST	Estruturas Mistas Aço-Concreto	12	36
16-MIST	Estruturas Mistas Aço-Concreto	16	48

Fonte: do autor (2019).

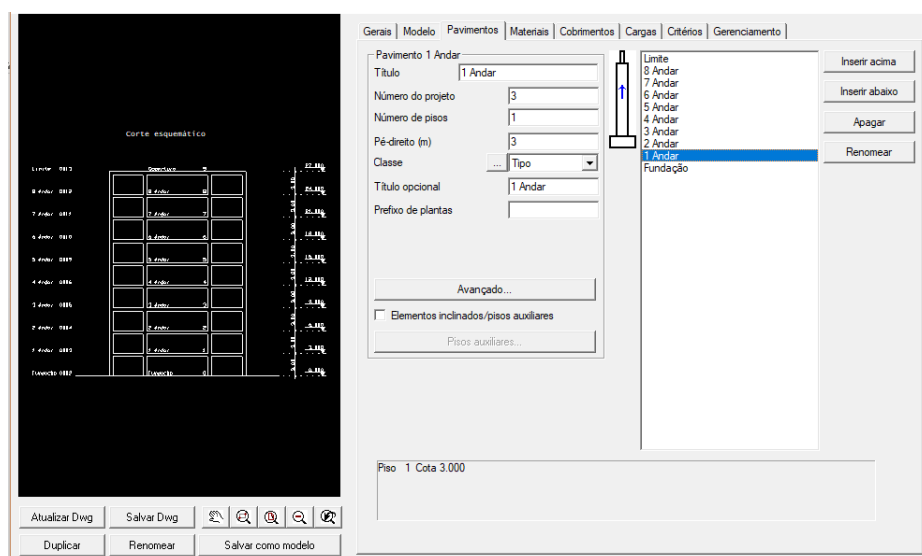
Para as estruturas de concreto armado, a modelagem foi embasada nas prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014) e especificações dos dados coletados no item 2.1 deste trabalho. Para as estruturas mistas, a modelagem foi embasada, principalmente, nas prescrições da NBR 8800 (ABNT, 2008) e especificações coletadas no item 2.2.

### 3.2.2 Definição dos Critérios

Adotou-se o modelo VI, que incorpora a grelha das lajes ao pórtico de vigas e pilares em um modelo único devido aos resultados obtidos por Kristiner (2019). No referido trabalho verificou-se que para edifícios com maior número de pavimentos, o modelo VI tende a representar melhor o comportamento da estrutura, facilitando a modelagem e convergência do modelo.

Devem ser informadas as características de cada edifício na tela inicial do editor. Cada pavimento deve ser colocado, bem como o seu pé-direito (todos possuem 3 metros) e a classe. Nos edifícios elaborados, todos os pavimentos são classificados como “Tipo”, com exceção da cobertura, que é classificada como “Cobertura”. Ao colocar cada pavimento, é atualizado o corte esquemático da estrutura, com um contexto inicial de como será concebido o edifício. A Figura 5 demonstra como é feito este critério.

Figura 5 - Modelo Inicial dos Edifícios



Fonte: do autor (2019).



Posteriormente, foram fornecidos alguns dados para o *software*, como a resistência do concreto, relevo do terreno e classe de agressividade ambiental. As informações são dispostas na Tabela 6.

Tabela 6 - Definição dos Critérios (Principais)

Critérios	Valores
Resistência do Concreto	C25
Relevo do Terreno	Plano
Classe de Agressividade Ambiental	II – Urbana

Fonte: do autor (2019).

Como foram elaborados seis modelos estruturais diferentes, com três variações no número de pavimentos, alguns critérios utilizados para a influência do vento são iguais para estas três situações ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $V_0$ ) e um dos critérios é diferente ( $Ca$ ). Os valores podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Definição dos Critérios (Vento)

<div> <div>Critérios</div> <div>Pavimentos</div> </div>	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$V_0$	$Ca$			
					0°	180°	90°	270°
8	1,0	IV; B	1,0	45	0,8	0,8	1,30	1,30
12	1,0	IV; B	1,0	45	0,9	0,9	1,30	1,30
16	1,0	IV; B	1,0	45	0,9	0,9	1,40	1,40

Fonte: do autor (2019).

Para a carga vertical, foram utilizados fatores de redução para sobrecarga, de forma que os pilares tenham um dimensionamento mais preciso e condizente com a realidade. Foram utilizados os valores padrão do programa, de forma que os coeficientes são maiores nos pavimentos inferiores. A Figura 6 demonstra o procedimento adotado.

Figura 6 - Redução de Sobrecargas

Sobrecargas

☒ Reduzir sobrecargas Avançado...

Tabela de redutores

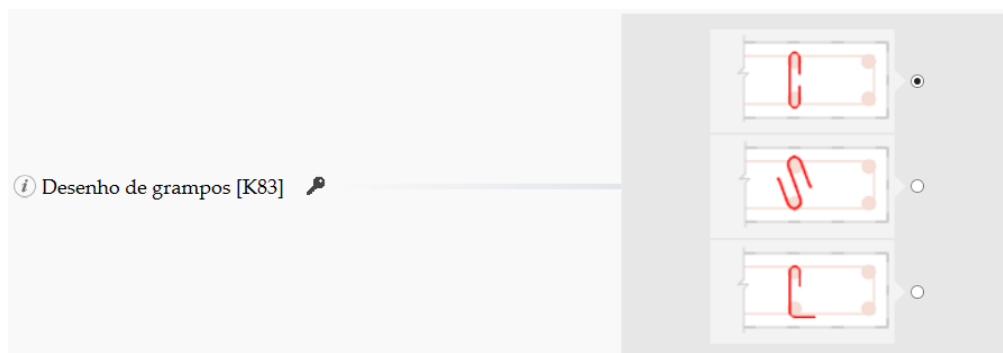
Piso	Redutor	Projeto	Cota	Pd	Título
09	0.00	0013	27.00	3.0	Limite
08	0.00	0012	24.00	3.0	8 Andar
07	0.00	0011	21.00	3.0	7 Andar
06	0.20	0010	18.00	3.0	6 Andar
05	0.40	0009	15.00	3.0	5 Andar
04	0.60	0006	12.00	3.0	4 Andar
03	0.60	0005	9.00	3.0	3 Andar
02	0.60	0004	6.00	3.0	2 Andar
01	0.60	0003	3.00	3.0	1 Andar
00	0.00	0002	0.00	0.0	Fundação

Limpar Valores padrão

Fonte: do autor (2019).

Por fim, o restante dos critérios gerais foi mantido de acordo com as escolhas padrão do *software*, que já são de acordo com as prescrições das normas vigentes. A única alteração foi em relação aos grampos dos pilares, nas estruturas de concreto armado: em vez da utilização de grampos “S”, foram utilizados grampos “C”, já que houve alerta que o dimensionamento poderia ser feito de maneira equivocada pelo primeiro tipo. A Figura 7 demonstra a escolha adotada.

Figura 7 - Desenho dos Grampos (Pilares)



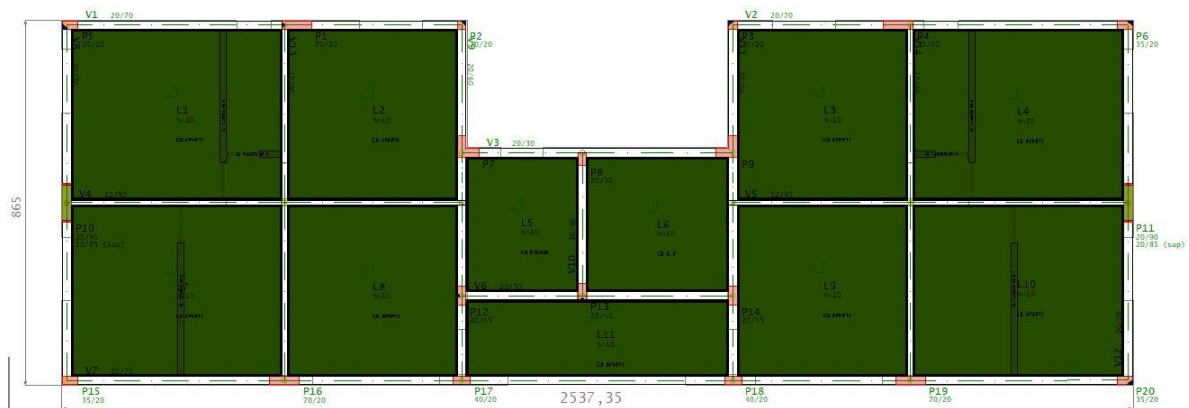
Fonte: do autor (2019).

### 3.2.3 Lançamento dos Elementos Estruturais

Definidos os critérios iniciais, foram pré-dimensionados os elementos estruturais componentes da superestrutura. Para cada sistema estrutural, o pré-dimensionamento foi feito por diferentes procedimentos, conforme disposto no item 2.1 para as estruturas de concreto armado, e por uma ferramenta do *software*

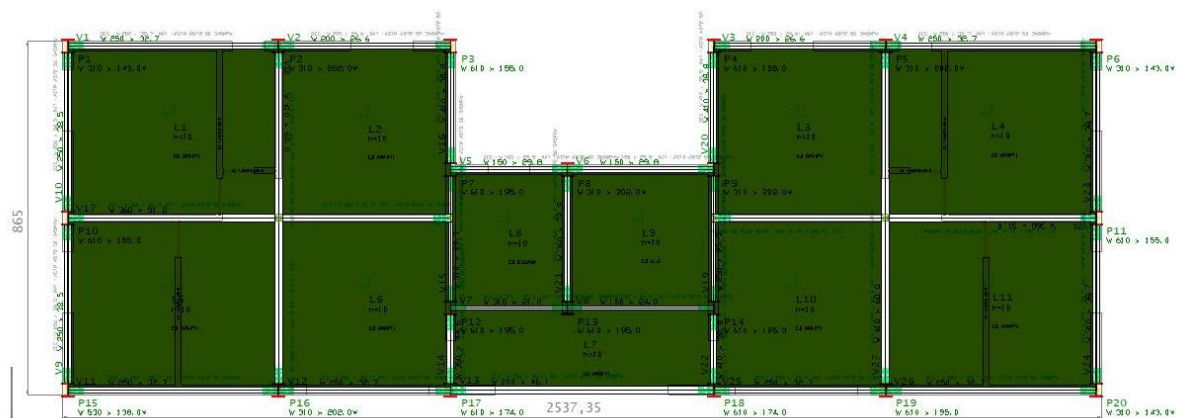
CAD/TQS, o MetalCheck, para as estruturas metálicas. A Figura 8 demonstra uma das plantas baixas em concreto armado e a Figura 9 demonstra uma das plantas baixas em estrutura mista.

Figura 8 - Modelador Estrutural (Concreto Armado)



Fonte: do autor (2019).

Figura 9 - Modelador Estrutural (Estrutura Mista)



Fonte: do autor (2019).

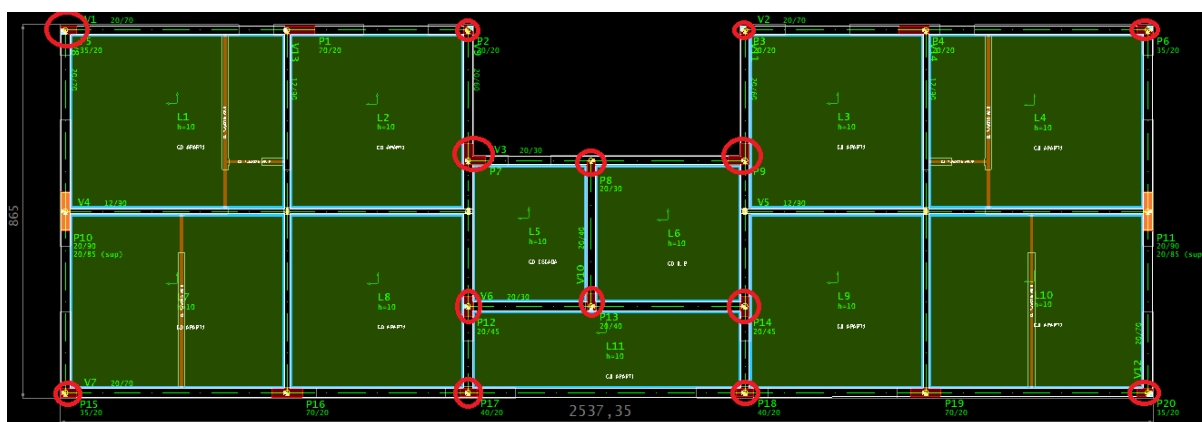
Como as cargas resistidas por pavimentos inferiores são maiores que a dos pavimentos superiores, os primeiros pavimentos foram dimensionados com pilares mais robustos em comparação ao restante do sistema estrutural para todas as situações.

### 3.2.3.1 Estruturas de Concreto Armado

As estruturas de concreto armado foram projetadas com premissas de que as vigas e lajes, nas mesmas posições, seriam as mesmas para todos os pavimentos, e os únicos elementos que sofreriam variação de seção seriam os pilares. Desta forma, as formas destes elementos poderiam ser reaproveitadas para concretagem em diferentes andares.

Primeiramente, foram colocados pilares em cada canto de cada apartamento, com um total de 8 elementos. Posteriormente, foram adicionados 4 pilares no entorno do elevador e mais 2 pilares na outra extremidade da escada, em um total de 14 elementos. Optou-se pela utilização de pilares-parede para este sistema estrutural, de forma que não existam prejuízos arquitetônicos. Desta forma, todos os pilares possuem uma dimensão fixa de 20cm (embutidos em paredes externas de 25cm). A Figura 10 demonstra os elementos marcados com esta disposição inicial.

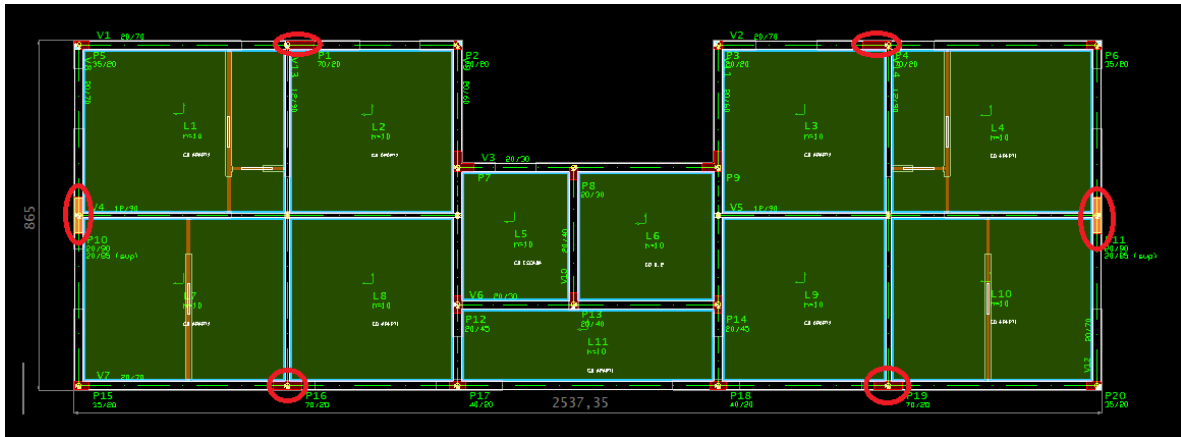
Figura 10 - Disposição Inicial dos Pilares



Fonte: do autor (2019).

A partir das primeiras simulações realizadas, constatou-se que seria necessário adicionar 3 pilares de extremidade entre os 3 maiores vãos dos apartamentos, que recebem a maior quantidade de cargas atuantes e, desta forma, possuem as maiores seções. A Figura 11 demonstra os últimos pilares adicionados.

Figura 11 - Disposição Final dos Pilares



Fonte: do autor (2019).

Como a estrutura apresentava problemas de estabilidade e deslocamento horizontal, foram utilizados pilares em “L” nas extremidades posteriores da escada e do elevador. A Figura 12 demonstra a situação abordada – P7 e P9.

Figura 12 - Pilares em "L"

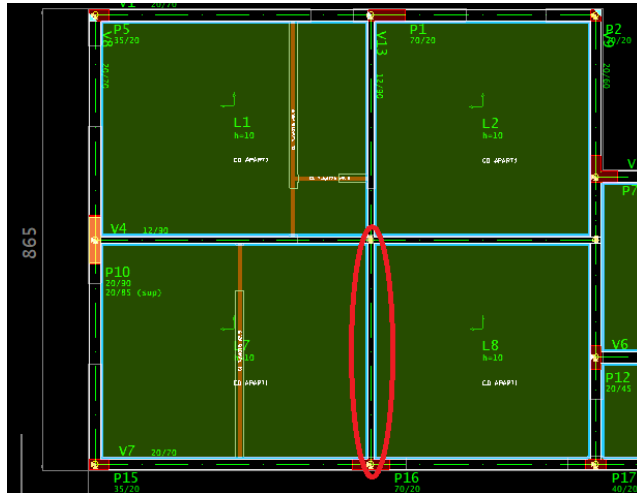


Fonte: do autor (2019).

Em relação às vigas, foi utilizada a premissa de que não haveria prejuízos estéticos, exceto em situações necessárias. Todas as vigas foram colocadas sobre paredes, com largura de 20cm para as vigas externas e de 12cm para as vigas internas dos apartamentos. Quase todas as 14 vigas dispostas em cada pavimento são contínuas, e foi possível colocar todos os elementos sobre as paredes, com exceção de uma das vigas internas dos apartamentos, onde este elemento ficou com

um dos trechos aparente na sala-de-estar de cada apartamento. A Figura 13 demonstra o trecho em questão.

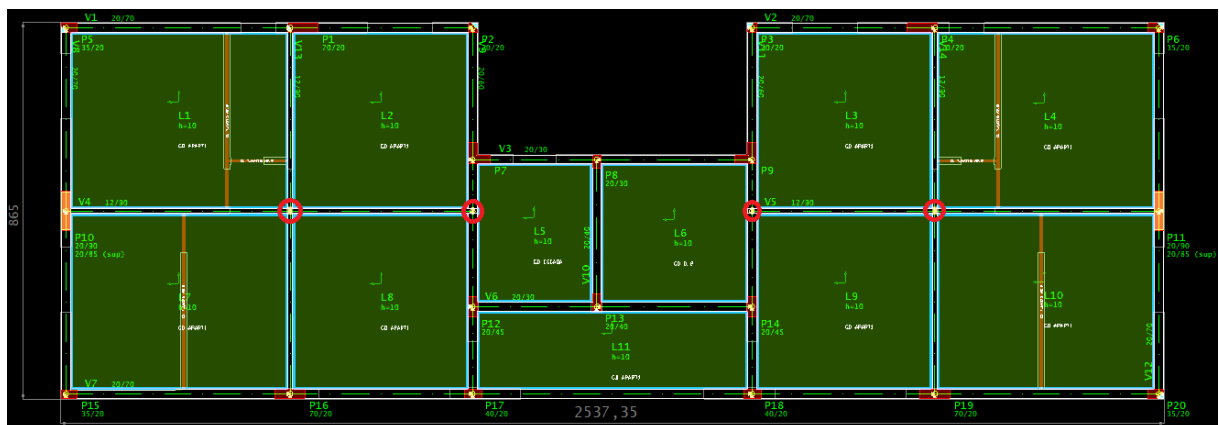
Figura 13 - Viga Aparente



Fonte: do autor (2019).

Pela quantidade disposta de pilares, optou-se por apoiar vigas sobre vigas em algumas situações. Esta situação foi observada no cruzamento das vigas internas do apartamento e no cruzamento de uma destas vigas com as barras da área de circulação vertical. A situação pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 - Vigas Apoiadas Sobre Vigas



Fonte: do autor (2019).

Em relação às lajes, todas foram padronizadas com a mesma espessura, de forma que não foram dispostos pontos destacados na conexão entre os pavimentos. Estas estruturas são maciças e possuem 10cm de altura. Foram colocadas 4 lajes em

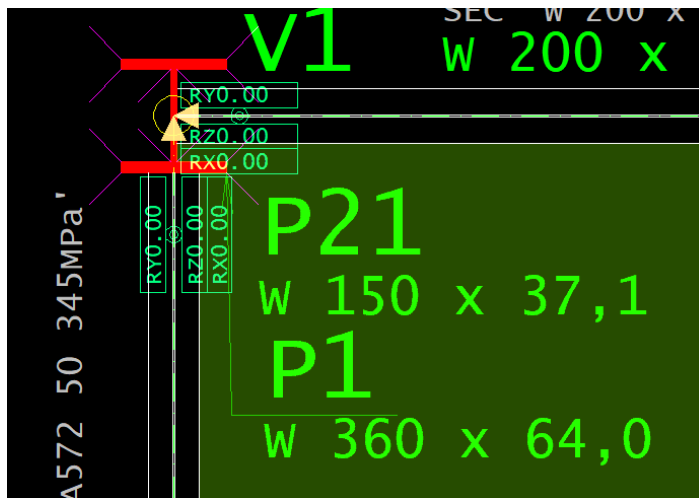
cada apartamento e mais 3 na área de circulação vertical, com um total de 11 elementos em cada andar.

### 3.2.3.2 Estruturas Mistas

Em relação às estruturas mistas, foram colocados 20 pilares metálicos, com a mesma disposição dos elementos em concreto armado, de forma que o comparativo ocorra de forma justa. Como os pilares possuem perfis tabelados pela empresa Gerdau, foi difícil prever se haveria prejuízo arquitetônico, já que alguns perfis catalogados possuem largura maior que a adotada para as paredes dos edifícios.

Cada pilar foi dimensionado para haver mudança de seção em cada pavimento, caso necessário. Desta forma, para cada transição de pavimentos existem 20 pilares que nascem e 20 pilares que morrem. A situação é observada neste exemplo com 2 pilares do modelo, na Figura 15.

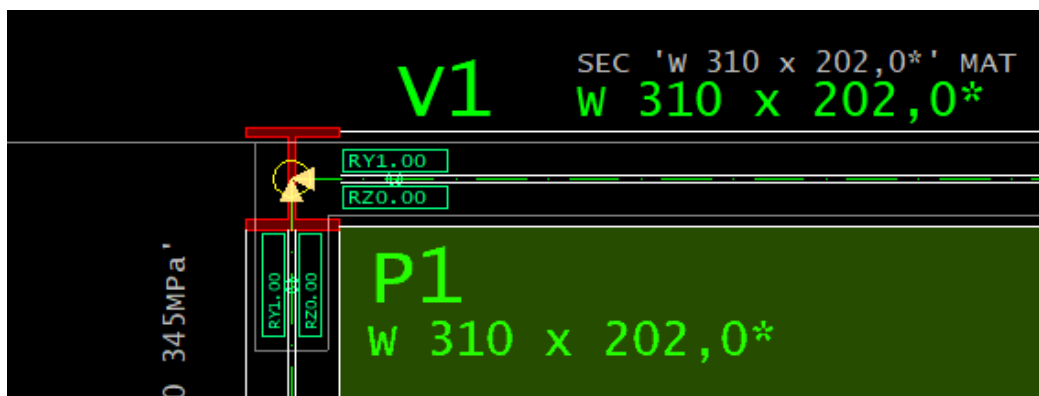
Figura 15 - Transição Entre Pilares



Fonte: do autor (2019).

Ao conectar estas vigas com outro elemento estrutural, deve-se especificar o tipo de vinculação, por se tratar de perfis metálicos. Em função de atenuação das flechas, estes elementos foram engastados no sentido “y” (vertical), para esforços de flexão. Por outro lado, os elementos receberam articulações em “z”, para flexão lateral, nas duas extremidades. Com esta articulação, é possível atenuar as solicitações para cada barra. A Figura 16 demonstra um exemplo das vinculações adotadas.

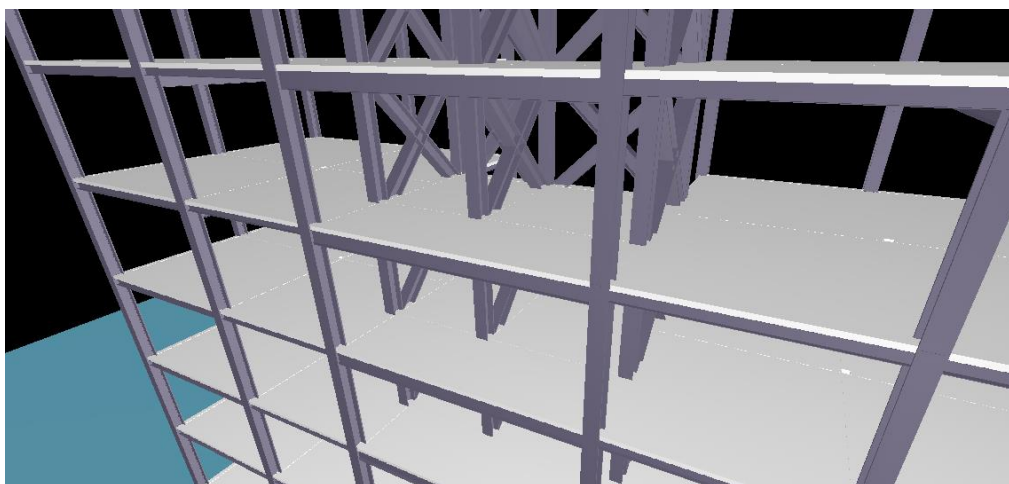
Figura 16 - Ligação Entre Elementos Metálicos



Fonte: do autor (2019).

Por possuírem muitas articulações, estas estruturas mistas apresentam problemas de estabilidade para deslocamento horizontal (principalmente em função da carga oriunda do vento) e para deslocamento entre pavimentos. Para solucionar o problema, foram adotadas vigas inclinadas, também chamadas de elementos de contraventamento na região do elevador e escada. Estas estruturas possuem as mesmas articulações das vigas sem inclinação. A Figura 17 demonstra as estruturas adotadas, em uma visão tridimensional.

Figura 17 - Vigas Inclinadas



Fonte: do autor (2019).

Em relação às lajes, foram utilizadas lajes maciças de mesma espessura que para as estruturas de concreto armado, de forma padronizada: todos elementos possuem 10cm de altura. Da mesma forma que para as estruturas de concreto, foram



dispostas 4 lajes em cada apartamento e mais 3 na área de circulação vertical, totalizando 11 elementos.

### 3.2.4 Lançamento dos Carregamentos

Com o lançamento da estrutura inicial, foi necessário atribuir as cargas atuantes para cada ambiente. Dentro dos apartamentos, o *software* dispõe cargas específicas entre  $1\text{kN/m}^2$  (permanente) e  $1,5\text{kN/m}^2$  (variável). Para o elevador, a carga variável adotada é de  $2\text{kN/m}^2$  e para a escada os valores são estimados entre  $1\text{kN/m}^2$  (permanente) e  $3\text{kN/m}^2$  (variável).

Como a alvenaria não é estrutural (sem contribuição para a resistência de cargas), os blocos foram colocados com a função de vedação e fechamento dos pavimentos, apenas. Para as paredes externas, foram utilizados tijolos cerâmicos com 25cm de espessura (carga linear de  $3\text{kN/m}$ ) e, para as paredes internas, tijolos cerâmicos com 15cm de espessura (carga linear de  $1,8\text{kN/m}$ ). As alturas dos elementos de vedação foram determinadas a partir dos elementos sobrepostos: se era uma viga, a altura da parede foi determinada pela medida do pé-direito de cada pavimento (3m) com a subtração da altura da viga sobreposta; se era uma laje, a altura da parede foi determinada pela medida do pé-direito de cada pavimento com a subtração da altura da laje sobreposta.

Por fim, o programa considera o peso próprio dos elementos estruturais e da influência do vento (a partir dos critérios fornecidos no item 3.2.2), calculados de forma automática para cada estrutura.

### 3.2.5 Análise dos Modelos

Finalizada a etapa de lançamento dos carregamentos, é necessário verificar a estabilidade global da estrutura, principalmente em relação aos Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS), conforme prescrições dispostas no item 2.3. O *software* sinaliza elementos que devem ser redimensionados ou que possuem erros, indicando que estas peças devem ter atenção especial. Além disso, são gerados relatórios de esforços para as cargas atuantes, que são fundamentais para o correto dimensionamento.

### 3.2.5.1 Análise das Estruturas de Concreto Armado

Como o processo é iterativo, foram feitas inúmeras simulações para as estruturas de concreto armado. Estas simulações foram finalizadas quando as estruturas não possuíam mais erros de dimensionamento.

Os primeiros erros observados foram em relação aos pilares, onde o *software* indicava muitos pilares sem dimensionamento, indicando que as seções deveriam ser aumentadas. Quando todos os pilares não possuíam erros de dimensionamento, o percentual da taxa de armadura ( $\rho$ ) calculada era exibido pelo *software*, ao lado do nome. A Figura 18 ilustra a situação explicada.

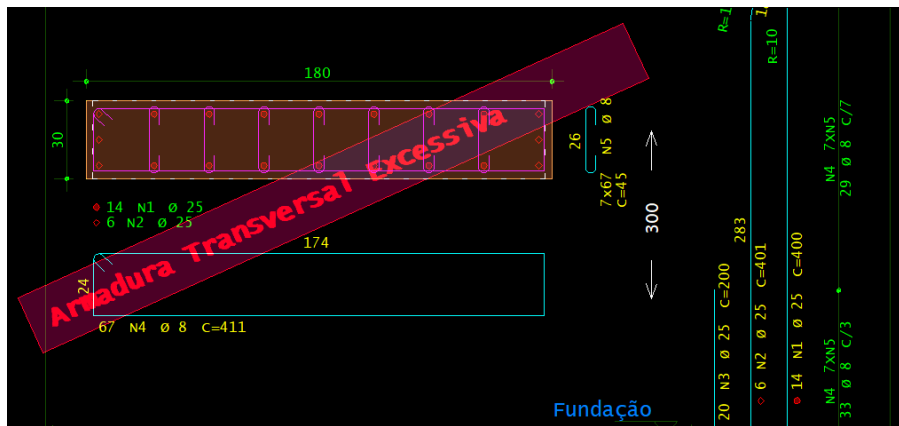
Figura 18 - Pilares Dimensionados

Pilar	Lances	Seção (cm)	Parede	$\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\nu$	$\lambda$	$\rho$	Taxa de aço (kg/m <sup>3</sup> )
P1	1 a 17	Com variação	-	176 a 1287	0,10 a 0,72	8 a 42	0,44 a 1,39	099
P2	1 a 17	Com variação	-	48 a 596	0,03 a 0,33	11 a 52	0,39 a 1,76	110
P3	1 a 17	Com variação	-	49 a 608	0,03 a 0,34	11 a 52	0,39 a 1,76	107
P4	1 a 17	Com variação	-	175 a 1278	0,10 a 0,72	8 a 42	0,44 a 1,34	100
P5	1 a 17	Com variação	-	86 a 901	0,05 a 0,50	10 a 52	0,43 a 2,96	145
P6	1 a 17	Com variação	-	86 a 898	0,05 a 0,50	10 a 52	0,43 a 2,96	145
P7	1 a 17	'07 '	-	64 a 952	0,04 a 0,53	8 a 15	0,52 a 2,35	095
P8	1 a 17	20.x 40.	-	95 a 1589	0,05 a 0,89	25 a 52	0,59 a 3,68	164
P9	1 a 17	'09 '	-	65 a 998	0,04 a 0,56	8 a 15	0,52 a 2,46	095
P10	1 a 17	Com variação	Sim	70 a 886	0,04 a 0,50	5 a 35	0,39 a 1,82	085
P11	1 a 17	Com variação	Sim	70 a 887	0,04 a 0,50	5 a 35	0,39 a 1,82	085
P12	1 a 17	Com variação	-	110 a 1273	0,06 a 0,71	9 a 52	0,39 a 2,83	129
P13	1 a 17	Com variação	-	131 a 1446	0,07 a 0,81	12 a 52	0,39 a 3,53	157
P14	1 a 17	Com variação	-	114 a 1363	0,06 a 0,76	9 a 52	0,39 a 2,83	149
P15	1 a 17	Com variação	-	88 a 903	0,05 a 0,51	10 a 52	0,43 a 2,96	144
P16	1 a 17	Com variação	-	168 a 1263	0,09 a 0,71	8 a 42	0,44 a 1,40	099
P17	1 a 17	Com variação	-	111 a 1055	0,06 a 0,59	9 a 52	0,39 a 4,13	194
P18	1 a 17	Com variação	-	113 a 1072	0,06 a 0,60	9 a 52	0,39 a 4,13	207
P19	1 a 17	Com variação	-	168 a 1255	0,09 a 0,70	8 a 42	0,44 a 1,21	095
P20	1 a 17	Com variação	-	88 a 901	0,05 a 0,50	10 a 52	0,43 a 2,96	142

Fonte: do autor (2019).

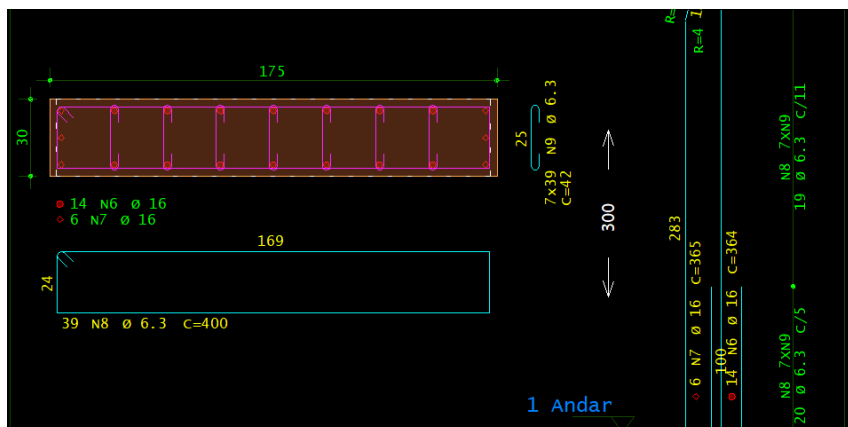
Mesmo com todos os pilares dimensionados, o programa não conseguia extrair o aço das armaduras de forma correta. Por isto, foi necessário observar o detalhamento de cada pilar, em cada lance, para identificar alguma tarja que identificasse o erro. Os erros mais comuns foram em relação à grande variação de seção entre os pavimentos e elevada taxa de armadura transversal. A Figura 19 ilustra um dos erros encontrados e a Figura 20 ilustra um pilar que foi dimensionado normalmente. Para corrigir estes erros, a armadura deveria ser alterada manualmente ou uma nova seção deveria ser adotada.

Figura 19 - Erros de Extração de Aço



Fonte: do autor (2019).

Figura 20 - Estrutura Corretamente Dimensionada



Fonte: do autor (2019).

Apesar de todas as vigas passarem na solicitação de esforços, o vão sem apoios no interior dos apartamentos possui grandes dimensões, o que trouxe problemas de flechas acima do limite. A solução adotada, para estes casos, foi o aumento de seção das duas vigas internas. Ambas foram dimensionadas com uma altura de 90cm, corrigindo este problema. A Figura 21 demonstra a situação abordada.

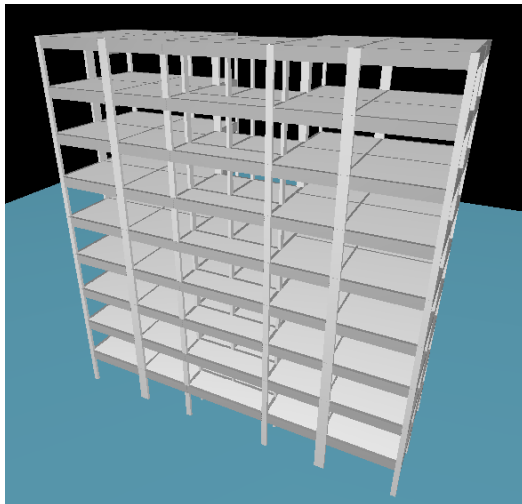
Figura 21 - Flechas nos Pavimentos (Concreto Armado)

Pavimento	Análise	Caso	Laje	Flecha máxima (cm)	Flecha limite (cm)	Situação
Limite	Não-linear	2	10	-1.3	1.6	OK
16 Andar	Não-linear	2	10	-1.3	1.6	OK
15 Andar	Não-linear	2	10	-1.3	1.6	OK
14 Andar	Não-linear	2	10	-1.3	1.6	OK
13 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
12 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
11 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
10 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
9 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
8 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
7 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
6 Andar	Não-linear	2	7	-1.3	1.6	OK
5 Andar	Não-linear	2	7	-1.2	1.6	OK
4 Andar	Não-linear	2	7	-1.2	1.6	OK
3 Andar	Não-linear	2	10	-1.2	1.6	OK
2 Andar	Não-linear	2	10	-1.2	1.6	OK
1 Andar	Não-linear	2	10	-1.2	1.6	OK
Fundação	Linear	28	10	0.0	1.6	OK

Fonte: do autor (2019).

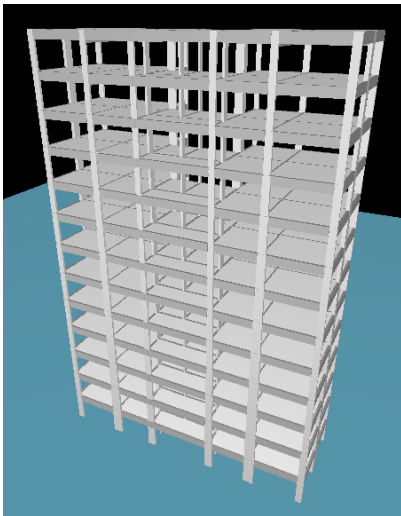
Após estes erros serem corrigidos, foram gerados todos os modelos dos edifícios em concreto armado. As Figuras 22, 23 e 24 demonstram os modelos tridimensionais dos edifícios em 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente.

Figura 22 - Visão Tridimensional (8 Pavimentos - Concreto Armado)



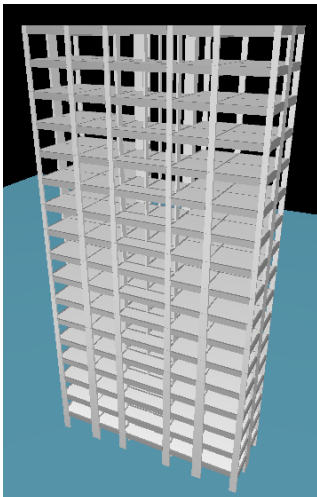
Fonte: do autor (2019).

Figura 23 - Visão Tridimensional (12 Pavimentos - Concreto Armado)



Fonte: do autor (2019).

Figura 24 - Visão Tridimensional (16 Pavimentos - Concreto Armado)



Fonte: do autor (2019).

Como todos os edifícios possuem muitas variações de seção dos pilares, não podem ser colocadas todas as plantas baixas neste trabalho. Desta forma, foi colocada uma planta baixa estrutural do primeiro andar de cada edifício. A planta baixa estrutural do edifício com 8 pavimentos está no Apêndice B e a relação das dimensões dos pilares está no Apêndice C. A planta baixa estrutural do edifício com 12 pavimentos está no Apêndice D e a relação das dimensões dos pilares é disposta no Apêndice E. A planta baixa estrutural do primeiro andar do edifício com 16 pavimentos está no Apêndice F e a relação das dimensões dos pilares é disposta no Apêndice G.

Em relação às vigas, todos os edifícios possuem elementos de mesmas dimensões, e estas são colocadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Dimensões das Vigas (Concreto Armado)

Viga	Seção (b x h)
V1	20 x 70
V2	20 x 70
V3	20 x 30
V4	12 x 90
V5	12 x 90
V6	20 x 30
V7	20 x 70
V8	20 x 70
V9	20 x 60
V10	20 x 40
V11	20 x 60
V12	20 x 70
V13	12 x 90
V14	12 x 90

Fonte: do autor (2019).

### 3.2.5.2 Análise das Estruturas Mistas

O processo para as estruturas mistas também é iterativo e só é finalizado após muitas simulações. Como os perfis são dimensionados por uma ferramenta interna do *software*, estes são escolhidos automaticamente da forma mais econômica possível, sem comprometer os requisitos de resistência. Isto torna o processo mais ágil em comparação às estruturas de concreto armado, apesar da grande quantidade de elementos em cada edifício.

Os primeiros erros observados, nestas estruturas, foram em relação à estabilidade global: como os edifícios possuem muitas ligações articuladas, as estruturas apresentavam erros de deslocamento horizontal (coeficiente alfa) e de deslocamento entre pavimentos. Para solucionar isto, foram utilizadas vigas inclinadas na região de circulação vertical, com os mesmos tipos de articulações. Com este tipo de estrutura, estes erros foram corrigidos.

Após a correção dos erros de estabilidade, foram feitas verificações para cada elemento lançado. Todas as verificações são realizadas pelo MetalCheck, uma das ferramentas do programa para seções metálicas. Depois do processamento ser realizado de forma correta, cada elemento pode ser dimensionado da forma mais econômica possível: com o botão “pré-dimensionar” (FIGURA 25). Depois que todos os elementos são ajustados, são gerados relatórios com o comprimento de cada perfil, como demonstra a Figura 26.

Figura 25 - Dimensionamento pelo MetalCheck

The screenshot displays the MetalCheck software interface for structural analysis and design. The interface is divided into several sections:

- Top Left:** Fields for 'Nome' (V1) and 'Vão (cm)' (515,00).
- Top Center:** Fields for 'Pos. Travamento (cm)' and 'Direção'.
- Top Right:** Fields for 'Contra flecha (cm)' (0,00) and 'δ<sub>lim</sub> = L / 350,00'.
- Left Panel:**
  - f<sub>y</sub> (MPa):** 345
  - Tabela de perfis:** W/HP, Perfil W 150 x 29,8
  - Dimensions:** d (cm) 15,70, t<sub>w</sub> (cm) 0,66, b<sub>f</sub> (cm) 15,30, t<sub>f</sub> (cm) 0,93, b<sub>e</sub> (cm) 15,30, t<sub>e</sub> (cm) 0,93.
  - Enrijecedores de alma:** 0
- Center:**
  - Combinação:** N2\_15 - ELU1/PERMACID/PP+PERM+ACID
  - Diagram:** A graph showing the distribution of internal forces (N, V<sub>y</sub>, M<sub>z</sub>, δ<sub>y</sub>, V<sub>z</sub>, M<sub>y</sub>, δ<sub>z</sub>) along the beam length. The y-axis represents force in kN, and the x-axis represents position in cm.
- Right Panel:**
  - Força normal:** Verificação crítica (kN). N<sub>Sd</sub> = 18,2 N<sub>Rd</sub> = 329,6. N<sub>Sd</sub> = -3,4 N<sub>Rd</sub> = -1179,0. Utilização: 5,5%.
  - Momento fletor:** Verificação crítica (kNm). M<sub>Sd</sub> = 42,3 M<sub>Rd</sub> = 72,0. M<sub>Sd</sub> = -61,1 M<sub>Rd</sub> = -72,0. Utilização: 84,9%.
  - Interação:** Verificação crítica. I<sub>Sd</sub> = 0,81 I<sub>Rd</sub> = 1,00. Utilização: 80,6%.
  - Força Cortante:** Verificação crítica (kN). V<sub>Sd</sub> = 58,7 V<sub>Rd</sub> = 195,0. V<sub>Sd</sub> = -63,7 V<sub>Rd</sub> = -195,0. Utilização: 32,7%.
  - Força Cortante:** Verificação crítica (kN). V<sub>Sd</sub> = 1,3 V<sub>Rd</sub> = 535,5. V<sub>Sd</sub> = -0,3 V<sub>Rd</sub> = -535,5. Utilização: 0,2%.
- Bottom:** A button labeled 'Pré dimensionar' and a status bar indicating 'Utilização máxima 84,9 %'.

Fonte: do autor (2019).

Figura 26 - Relatório de Perfis Utilizados

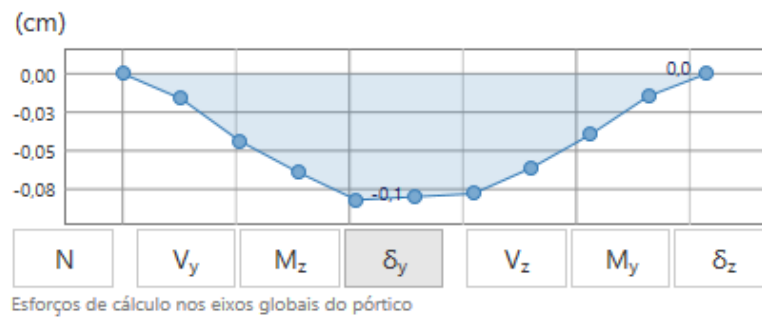
Nome	Perfil	Vão (cm)	Utilização
V1	W 150 x 29,8	515,00	84,9 %
V2	W 150 x 22,5	420,00	95,5 %
V3	W 150 x 22,5	420,00	97,3 %
V4	W 150 x 29,8	515,00	87,9 %
V5	W 250 x 17,9	285,00	98,3 %
V6	W 200 x 22,5	357,30	95,1 %
V9	W 200 x 15,0	285,00	71,6 %
V10	W 150 x 18,0	357,30	98,7 %
V21	W 310 x 28,3	288,40	99,2 %
V20	W 250 x 17,9	324,40	71,7 %
V22	W 200 x 15,0	324,40	91,2 %
V24	W 250 x 17,9	324,40	74,0 %
V25	W 250 x 28,4	288,40	96,7 %
V8	W 360 x 51,0	935,02	86,2 %
V28	W 200 x 31,3	406,40	91,1 %
V27	W 200 x 31,3	406,40	91,5 %
V17	W 200 x 31,3	406,40	82,3 %
V16	W 200 x 31,3	406,40	88,0 %
V19	W 310 x 23,8	186,40	95,7 %
V13	W 200 x 35,9	642,30	71,2 %
V23	W 310 x 23,8	186,40	98,7 %
V11	W 150 x 29,8	515,00	82,5 %
V12	W 250 x 22,3	420,00	98,2 %
V14	W 250 x 22,3	420,00	98,3 %
V15	W 150 x 29,8	515,00	82,8 %
V26	W 360 x 51,0	413,22	92,7 %
V18	W 460 x 52,0	413,22	93,3 %

Fonte: do autor (2019).

Inicialmente, as estruturas iriam possuir liberdade para articulações nos três sentidos: x, y e z. Porém, foram identificados problemas de extração de aço, em função de flechas nas lajes, assim como nas estruturas de concreto armado. Para correção desta patologia, restringiu-se um dos graus de liberdade em “y” (engaste) e a articulação em x foi removida, de forma que a flexão e a torção das barras foi impedida nos apoios. Após esta medida, este problema foi resolvido de forma eficaz. A verificação destes deslocamentos é realizada dentro do MetalCheck a partir da ilustração de um diagrama, conforme mostra a Figura 27.



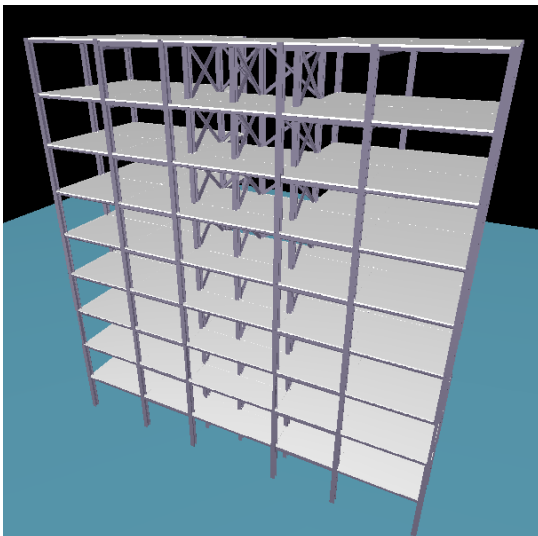
Figura 27 - Flechas (Estruturas Mistas)



Fonte: do autor (2019).

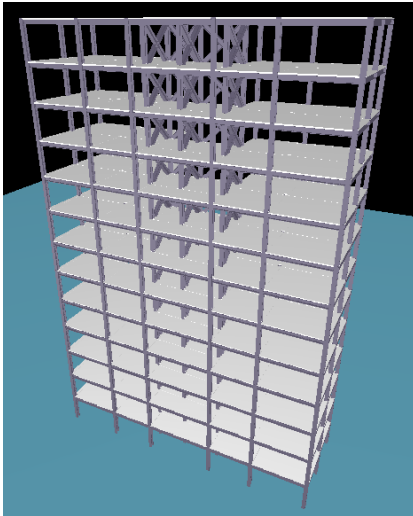
Quando estes erros foram corrigidos, foram gerados todos os modelos dos edifícios em estrutura mista. As Figuras 28, 29 e 30 demonstram os modelos tridimensionais dos edifícios em 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente.

Figura 28 - Visão Tridimensional (8 Pavimentos - Estrutura Mista)



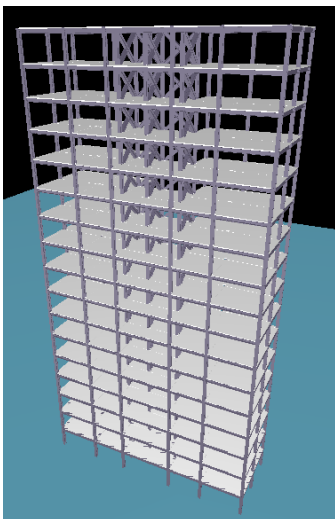
Fonte: do autor (2019).

Figura 29 - Visão Tridimensional (12 Pavimentos - Estrutura Mista)



Fonte: do autor (2019).

Figura 30 - Visão Tridimensional (16 Pavimentos - Estrutura Mista)



Fonte: do autor (2019).

Assim como nos edifícios em concreto armado, conforme há variação de pilares em todos os pavimentos, foi colocada apenas uma das plantas baixas de cada edifício. A planta baixa do primeiro pavimento do projeto estrutural do edifício de 8 pavimentos está no Apêndice H, a relação das dimensões dos pilares está no Apêndice I e a relação das dimensões das vigas está no Apêndice J. A planta baixa do primeiro pavimento do projeto estrutural do edifício com 12 pavimentos está no Apêndice K, a relação dos pilares está no Apêndice L e a relação das vigas está no Apêndice M. A planta baixa do primeiro pavimento do projeto estrutural do edifício com 16 pavimentos

está no Apêndice N, as dimensões dos pilares estão no Apêndice O e a relação das vigas está no Apêndice P.

### 3.2.6 Relatório de Quantitativos

Após o *software* sinalizar que a estrutura final atende aos requisitos do dimensionamento em ELU e ELS, são gerados relatórios de consumo para cada material e elemento estrutural, e os materiais listados são massa de aço, volume de concreto, área das formas e metragem de cada perfil de aço utilizado. É importante salientar que o programa CAD/TQS realiza estas estimativas automaticamente, por meio de planilhas elaboradas de acordo com as dimensões de cada elemento componente do sistema estrutural. A Figura 31 demonstra uma das planilhas geradas pelo *software*.

Figura 31 - Planilha de Quantitativos (Exemplo)

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m³)	Taxa (m²/m²)	Consumo (m²)	Taxa (m²/m²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m²)	Taxa (kg/m³)
Limite	37.4	0.19	427.1	2.1	2594.5	13.0	69.3
8 Andar	37.4	0.19	427.1	2.1	2629.8	13.2	70.3
7 Andar	37.4	0.19	427.1	2.1	2680.5	13.5	71.6
6 Andar	37.4	0.19	427.1	2.1	2724.5	13.7	72.8
5 Andar	37.4	0.19	427.1	2.1	2845.7	14.3	76.0
4 Andar	37.5	0.19	428.0	2.2	3085.7	15.5	82.2
3 Andar	37.6	0.19	428.4	2.2	4585.5	23.0	122.0
2 Andar	37.7	0.19	429.8	2.2	5036.5	25.3	133.6
1 Andar	37.8	0.19	430.2	2.2	6663.8	33.5	176.5
Fundação	0.0		0.0		0.0		
<b>TOTAL</b>	<b>337.7</b>	<b>0.19</b>	<b>3851.7</b>	<b>2.2</b>	<b>32846.5</b>	<b>18.3</b>	<b>97.3</b>

Os valores /m² são divididos pela área do pavimento e o /m³ pelo volume de concreto.

Fonte: do autor (2019).

### 3.3 Cálculo de Custo dos Materiais

Para os elementos em concreto armado, é possível calcular o custo de cada material por meio de valores dispostos em planilhas do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Foram coletados custos referentes ao estado do Rio Grande do Sul no período de Agosto/2019, com desoneração aplicada, de forma que o imposto aplicado sobre os materiais sejam desconsiderados. Os custos são dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Custos dos Materiais (SINAPI)

Descrição	Custo (R\$)	Unidade
Concreto Usinado C25 (sem bombeamento); Slump 13cm	368,28	m³
Chapa de Madeira Compensada de Pinus, Virola ou Equivalente, 2200 x 1600 x 10 mm	26,87	m²
Aço CA-50 – 6,3mm (vergalhão)	4,73	Kg
Aço CA-50 – 8mm (vergalhão)	5,31	Kg
Aço CA-50 – 10mm (vergalhão)	4,52	Kg
Aço CA-50 – 12,5mm (vergalhão)	4,30	Kg
Aço CA-50 – 16mm (vergalhão)	4,30	Kg
Aço CA-50 – 20mm (vergalhão)	4,02	Kg
Aço CA-50 – 25mm (vergalhão)	4,65	Kg
Aço CA-60 – 4,2mm (vergalhão)	4,46	Kg
Aço CA-60 – 5mm (vergalhão)	4,48	Kg
Perfil Metálico “W”	5,67	Kg

Fonte: do autor (2019).

Para as estruturas mistas, as lajes em concreto armado são calculadas conforme a tabela anterior, assim como os pilares e as vigas, onde o custo estimado para cada perfil foi considerado na ordem de R\$ 5,67/Kg.

No cálculo das formas, para as estruturas de concreto armado presentes nos dois sistemas, estas foram reaproveitadas para até 3 concretagens, quando as seções dos elementos era a mesma. Desta forma é possível reduzir o custo final das estruturas.

### 3.4 Comparativo entre os Sistemas

Após o cálculo do custo total para cada sistema estrutural, foram feitas análises em relação ao consumo de cada material e a influência de cada um para o resultado final. Com isto, o custo de cada modelo gerado foi comparado e as principais situações e tendências para a escolha do sistema estrutural foram identificadas para cada situação.

## 4 RESULTADOS

Depois de finalizados os modelos, o *software* CAD/TQS gerou planilhas de consumo para cada material utilizado. O somatório de custos de cada material totalizou o custo final para cada estrutura. É importante salientar que apenas os materiais das estruturas foram considerados para o cálculo dos custos de cada edifício.

### 4.1 Custos das Estruturas de Concreto Armado

Para as estruturas de concreto armado, em todas as situações, os maiores custos observados foram em relação às armaduras. Com o reaproveitamento das formas, foi possível diminuir o número de materiais e, conseqüentemente, o custo final de cada edifício.

Desta forma, os quantitativos do edifício de 8 pavimentos são apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12 e o custo é apresentado na Tabela 13.

Tabela 10 - Bitolas de Aço/Kg (8 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	4.2	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25
Limite	0	353.3	1266.6	44.7	607.1	115.2	119	88.8	0
8 Andar	0	345.9	1263.4	52	616.6	150.3	24.3	177.3	0
7 Andar	0	345.9	1267.5	53.8	602.7	152.9	80.3	177.4	0
6 Andar	0	346.8	1270	55	603.1	149.7	122.3	177.6	0
5 Andar	0	310	1318.2	57.2	467.2	282.5	263.5	147.2	0
4 Andar	0	286.6	1358.1	56.3	420.8	289.8	320.9	353.1	0
3 Andar	3.6	259.3	1554.5	91.7	477.2	501.7	436.6	562	698.9
2 Andar	0	255.8	1549.7	110.3	468.3	394.1	672.5	882.3	703.5
1 Andar	1.6	263.1	1504	191.9	439.2	198	585.8	1880.4	1599.6
<b>TOTAL</b>	<b>5.2</b>	<b>2766.6</b>	<b>12351.8</b>	<b>712.9</b>	<b>4702.1</b>	<b>2234.3</b>	<b>2625.3</b>	<b>4446.1</b>	<b>3002.1</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 11 - Concreto (8 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	Concreto (m³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Limite	5.8	14	17.6	0	0
8 Andar	5.8	14	17.6	0	0
7 Andar	5.8	14	17.6	0	0
6 Andar	5.8	14	17.6	0	0
5 Andar	5.8	14	17.6	0	0
4 Andar	5.9	14	17.6	0	0
3 Andar	6	14	17.6	0	0
2 Andar	6.2	14	17.6	0	0
1 Andar	6.2	14	17.6	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>53.5</b>	<b>126</b>	<b>158.7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 12 - Formas (8 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Limite	0	0	0	0	0
8 Andar	0	0	0	0	0
7 Andar	82.2	168.5	176.4	0	0
6 Andar	0	0	0	0	0
5 Andar	19.2	0	0	0	0
4 Andar	63	168.5	176.4	0	0
3 Andar	32.4	0	0	0	0
2 Andar	12.6	0	0	0	0
1 Andar	86.4	168.5	176.4	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>295.8</b>	<b>505.5</b>	<b>529.2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 13 - Custo da Estrutura (8 Pavimentos - Concreto Armado)

CUSTO		
CONCRETO	R\$	124,552.30
FORMAS	R\$	35,750.54
AÇO	R\$	148,609.93
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>308,912.76</b>

Fonte: do autor (2019).

Para o edifício de 12 pavimentos, os quantitativos são apresentados nas Tabelas 14, 15 e 16 e o custo é apresentado na Tabela 17.

Tabela 14 - Bitolas de Aço/Kg (12 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25
Cobertura	570.2	2423.3	290.1	978	196.3	123.6	261.6	180.7
12 Andar	355.2	1292.9	49.9	621	220.2	75.1	117	0
11 Andar	356.5	1295.9	51.1	597.7	241.3	93.5	140.8	0
10 Andar	354.7	1300.1	51.1	616.1	172.1	214.3	117.1	0
9 Andar	324.6	1350.3	54	515.8	299.2	228	178	0
8 Andar	325.6	1360.5	62.8	504.4	368.3	148.3	311.9	0
7 Andar	305.8	1382.7	69.8	475.2	295.8	334.3	303.6	102.9
6 Andar	469.1	2518.2	376.3	613.7	590.1	866.7	528.2	312.3
5 Andar	441.4	2565.9	394	570.7	526.2	1098.5	881.2	188.8
4 Andar	201.8	1520.5	109.1	219.3	543.7	605.4	889.1	233.5
3 Andar	200.2	1533	98.1	241.9	378.5	494.6	1500.1	388
2 Andar	199.4	1550.4	130.6	221.9	273.9	858.5	1441.3	542.5
1 Andar	199.7	1542.9	224.9	268.4	139.2	283.6	3371.8	1274.1
<b>TOTAL</b>	<b>4304.1</b>	<b>21636.6</b>	<b>1961.9</b>	<b>6444.1</b>	<b>4244.8</b>	<b>5424.3</b>	<b>10041.8</b>	<b>3222.8</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 15 - Concreto (12 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	Concreto (m³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	7.7	14	17.6	0	0
12 Andar	7.7	14	17.6	0	0
11 Andar	7.9	14	17.6	0	0
10 Andar	8	14	17.6	0	0
9 Andar	8.1	14	17.6	0	0
8 Andar	8.3	14	17.6	0	0
7 Andar	8.4	14	17.6	0	0
6 Andar	8.7	14	17.6	0	0
5 Andar	9	14	17.6	0	0
4 Andar	9.3	14	17.6	0	0
3 Andar	9.6	14	17.6	0	0
2 Andar	10	14	17.6	0	0
1 Andar	10.1	14	17.6	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>112.9</b>	<b>182</b>	<b>229.1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 16 - Formas (12 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	0	0	0	0
12 Andar	97.8	168.5	176.2	0	0
11 Andar	18	0	0	0	0
10 Andar	79.8	168.5	176.2	0	0
9 Andar	48	0	0	0	0
8 Andar	21.6	0	0	0	0
7 Andar	86.4	168.5	176.2	0	0
6 Andar	47.1	0	0	0	0
5 Andar	64.2	0	0	0	0
4 Andar	95.1	168.5	176.2	0	0
3 Andar	71.4	0	0	0	0
2 Andar	11.4	0	0	0	0
1 Andar	120	168.5	176.2	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>760.8</b>	<b>842.5</b>	<b>881</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 17 - Custo da Estrutura (12 Pavimentos - Concreto Armado)

CUSTO		
CONCRETO	R\$	192,978.72
FORMAS	R\$	66,753.14
AÇO	R\$	258,118.43
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>517,850.29</b>

Fonte: do autor (2019).

Para o edifício de 16 pavimentos, os quantitativos são apresentados nas Tabelas 18, 19 e 20 e o custo é apresentado na Tabela 21.



Tabela 18 - Bitolas de Aço/Kg (16 Pavimentos - Concreto Armado)

Pasta	4.2	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25
Limite	0	358.8	1295.5	110.1	555.7	341.6	217.4	0	0
16 Andar	0	350	1320.8	97.6	613.7	274.4	268.4	23.9	0
15 Andar	0	346.8	1322.1	99.8	617.6	274.3	315.1	0	0
14 Andar	0	348.6	1329.4	100.4	632	269.1	200.3	183	0
13 Andar	0	342.1	1334.2	111.4	563.5	365.2	248.9	169.2	0
12 Andar	0	342.4	1342.3	115.1	545.9	361.8	222.7	260.2	106.3
11 Andar	0	342.6	1324.9	147.8	538.5	333.1	333.4	333.3	52.8
10 Andar	0	329.8	1342.6	145.9	517.7	397.2	312	267.7	217.3
9 Andar	0	320	1373	146.5	503.2	453.6	261	340.7	304
8 Andar	0	256.3	1475.6	138.4	378.9	686.3	253.8	299.1	409.6
7 Andar	0	253.5	1480.5	174.2	366.8	779.5	228.5	486.5	497
6 Andar	0	244.8	1517.1	153.2	367.1	586.5	636.1	546.7	631.5
5 Andar	0	244.5	1504.1	160.5	374.5	499.3	791	672.8	705.9
4 Andar	1.4	244.5	1530.4	133.5	371.1	431.3	923.7	947.3	707.8
3 Andar	1.4	189.7	1616.1	160	290.7	537.5	1265.6	513.7	1200.6
2 Andar	1	188.7	1735	103.2	281	262.5	1731	1320.7	503.2
1 Andar	0	190.8	1669.8	492.6	329.2	224.7	2778.1	1165.3	1220.9
<b>TOTAL</b>	<b>3.8</b>	<b>4893.8</b>	<b>24513.2</b>	<b>2590.1</b>	<b>7847.2</b>	<b>7077.8</b>	<b>10987.3</b>	<b>7530</b>	<b>6556.9</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 19 - Concreto (16 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	Concreto (m³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Limite	10.4	14	17.6	0	0
16 Andar	10.6	14	17.6	0	0
15 Andar	10.6	14	17.6	0	0
14 Andar	10.6	14	17.6	0	0
13 Andar	10.8	14	17.6	0	0
12 Andar	11	14	17.6	0	0
11 Andar	11.4	14	17.6	0	0
10 Andar	11.6	14	17.6	0	0
9 Andar	12	14	17.6	0	0
8 Andar	12.5	14	17.6	0	0
7 Andar	12.9	14	17.6	0	0
6 Andar	13.3	14	17.6	0	0
5 Andar	13.7	14	17.6	0	0
4 Andar	14.1	14	17.6	0	0
3 Andar	14.6	14	17.6	0	0
2 Andar	15	14	17.6	0	0
1 Andar	15.3	14	17.6	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>210.4</b>	<b>238</b>	<b>298.9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 20 - Formas (16 Pavimentos - Concreto Armado)

Pavimento	Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Limite	19.2	0	0	0	0
16 Andar	120.3	168.5	175.9	0	0
15 Andar	0	0	0	0	0
14 Andar	40.8	0	0	0	0
13 Andar	101.1	168.5	175.9	0	0
12 Andar	57.3	0	0	0	0
11 Andar	96	0	0	0	0
10 Andar	78	168.5	175.9	0	0
9 Andar	85.8	0	0	0	0
8 Andar	85.5	0	0	0	0
7 Andar	109.2	168.5	175.9	0	0
6 Andar	85.8	0	0	0	0
5 Andar	88.8	0	0	0	0
4 Andar	137.1	168.5	175.9	0	0
3 Andar	95.4	0	0	0	0
2 Andar	61.8	0	0	0	0
1 Andar	161.4	168.5	175.9	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1423.5</b>	<b>1011</b>	<b>1055.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 21 - Custo da Estrutura (16 Pavimentos - Concreto Armado)

CUSTO		
CONCRETO	R\$	275,215.64
FORMAS	R\$	93,773.61
AÇO	R\$	325,551.50
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>694,540.76</b>

Fonte: do autor (2019).

## 4.2 Custos das Estruturas Mistas

Para as estruturas mistas, todos os perfis utilizados foram calculados com base em dados dispostos no SINAPI, com base no valor de R\$ 5,67/Kg de aço de cada perfil metálico. Assim como ocorrido nas estruturas de concreto armado, o reaproveitamento de formas utilizadas nas lajes propiciou boa economia de material e, consequentemente, para o custo final das estruturas. Conforme os pilares e as vigas são metálicos, sem revestimento de concreto, não foi necessária a utilização de formas para estes elementos.

No item aço, foram considerados os preços das armaduras das lajes e dos perfis metálicos utilizados nas vigas e nos pilares. Desta forma, os quantitativos do edifício de 8 pavimentos são dispostos nas Tabelas 22, 23, 24 e 25 e os custos são dispostos na Tabela 26.

Tabela 22 - Bitolas de Aço/Kg (8 Pavimentos - Estrutura Mista)

<b>Pasta</b>	<b>5</b>	<b>6.3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
Cobertura	65	1043.7	28.8	0
8 Andar	66.7	1044.2	28.8	0
7 Andar	66.7	1043.8	28.8	0
6 Andar	66.7	1043.9	28.8	0
5 Andar	66.7	1044.1	28.8	0
4 Andar	65	1043.9	28.8	0
3 Andar	65	1040.5	28.8	0
2 Andar	65	1040.5	28.8	0
1 Andar	66.7	997.8	72.2	78.6
<b>TOTAL</b>	<b>593.4</b>	<b>9342.5</b>	<b>302.3</b>	<b>78.6</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 23 - Perfis de Aço (8 Pavimentos - Estrutura Mista)

RELAÇÃO DE PERFIS					
PILARES		VIGAS		TOTAL	MASSA (kg)
PERFIS	L (m)	PERFIS	L (m)		
W 360x64	60		0	60	3840
W 310x117	6		0	6	702
W 250x115	6		0	6	690
W 310x97	27		0	27	2619
W 360x101	6		0	6	606
W 610x101	12		0	12	1212
HP 310x93	9		0	9	837
W 360x110	12		0	12	1320
HP 250x85	12		0	12	1020
W 310x38,7	69		0	69	2670.3
HP 250x62	6		0	6	372
W 200x59	12		0	12	708
W 530x72	18		0	18	1296
W 200x52	9		0	9	468
W 250x89	9		0	9	801
W 360x51	27	W 360x51	84.15	111.15	5668.65
W 250x32,7	57		0	57	1863.9
W 530x82	6		0	6	492
W 200x46,1	6		0	6	276.6
HP 310x79	6			6	474
					5079.67
W 310x44,5	30	W 310x44,5	84.15	114.15	5
W 250x80	3		0	3	240
W 200x41,7	3		0	3	125.1
W 410x53	9		0	9	477
W 360x32,9	69		0	69	2270.1
W 250x38,5	6		0	6	231
					18498.0
W 150x29,8	39	W 150x29,8	581.74	620.74	5
W 150x22,5	6	W 150x22,5	75.6	81.6	1836
					1713.53
		W 410x46,1	37.17	37.17	7
		W 200x15	29.16	29.16	437.4
					3887.85
		W 200x26,6	146.16	146.16	6
		W 150x13	51.3	51.3	666.9
		W 460x52	37.17	37.17	1932.84
					1996.02
		W 250x17,9	111.51	111.51	9
					2841.91
		W 250x22,3	127.44	127.44	2
		W 150x18	32.13	32.13	578.34

Fonte: do autor (2019).

Tabela 24 - Concreto (8 Pavimentos - Estrutura Mista)

Pavimento	Concreto (m³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	0	17.6	0	0
8 Andar	0	0	17.6	0	0
7 Andar	0	0	17.6	0	0
6 Andar	0	0	17.6	0	0
5 Andar	0	0	17.6	0	0
4 Andar	0	0	17.6	0	0
3 Andar	0	0	17.6	0	0
2 Andar	0	0	17.6	0	0
1 Andar	0	0	17.6	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>158.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 25 - Formas (8 Pavimentos - Estrutura Mista)

Pavimento	Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	0	0	0	0
8 Andar	0	0	0	0	0
7 Andar	0	0	176.4	0	0
6 Andar	0	0	0	0	0
5 Andar	0	0	0	0	0
4 Andar	0	0	176.4	0	0
3 Andar	0	0	0	0	0
2 Andar	0	0	0	0	0
1 Andar	0	0	176.4	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>529.2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 26 - Custo da Estrutura (8 Pavimentos - Estrutura Mista)

CUSTO		
CONCRETO	R\$	58,335.55
FORMAS	R\$	13,195.86
AÇO	R\$	449,951.18
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>521,482.59</b>

Fonte: do autor (2019).

Assim como para o edifício de 8 pavimentos, no edifício de 12 pavimentos o item aço é calculado pela soma do custo de armaduras das lajes com o custo dos perfis metálicos dos pilares e das vigas. Para o edifício de 12 pavimentos, os

quantitativos são dispostos nas Tabelas 27, 28, 29 e 30 e os custos são dispostos na Tabela 31.

Tabela 27 - Bitolas de Aço (12 Pavimentos - Estrutura Mista)

<b>Pasta</b>	<b>5</b>	<b>6.3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
Cobertura	66.7	1044.9	28.2	0
12 Andar	66.7	1044.5	28.8	0
11 Andar	66.7	1045	28.8	0
10 Andar	66.7	1045	28.8	0
9 Andar	66.7	1045.7	28.8	0
8 Andar	66.7	1045.7	28.8	0
7 Andar	66.7	1043.1	28.8	0
6 Andar	66.7	1044.5	28.8	0
5 Andar	66.7	1027.6	70.1	0
4 Andar	66.7	1010.6	103.3	12.8
3 Andar	66.7	978.6	28.8	192
2 Andar	66.7	981.4	52.9	157.4
1 Andar	66.7	891.2	82.2	379.2
<b>TOTAL</b>	<b>867.3</b>	<b>13247.8</b>	<b>566.8</b>	<b>741.5</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 28 - Perfis de Aço (12 Pavimentos - Estrutura Mista)

RELAÇÃO DE PERFIS					
PILARES		VIGAS		TOTAL	MASSA (kg)
PERFIS	L (m)	PERFIS	L (m)		
W 360x64	84		0	84	5376
W 310x117	12		0	12	1404
W 310x97	36		0	36	3492
W 360x101	18		0	18	1818
W 610x101	12		0	12	1212
HP 310x93	9		0	9	837
HP 250x85	6		0	6	510
W 310x38,7	84		0	84	3250.8
HP 250x62	24		0	24	1488
W 200x59	15		0	15	885
W 530x72	21		0	21	1512
W 200x52	3		0	3	156
W 250x89	27		0	27	2403
W 360x51	39	W 360x51	225.76	264.76	13502.76
W 250x32,7	24		0	24	784.8
W 530x82	12		0	12	984
HP 310x79	15			15	1185
W 310x44,5	51	W 310x44,5	172.07	223.07	9926.615
W 250x80	9		0	9	720
W 410x53	12		0	12	636
W 360x32,9	60		0	60	1974
W 150x29,8	30	W 150x29,8	366.2	396.2	11806.76
W 150x22,5	6	W 150x22,5	207.6	213.6	4806
W 610x155	18			18	2790
W 310x143	36			36	5148
W 250x149	6			6	894
W 530x138	6			6	828
W 310x129	15			15	1935
HP 310x125	3			3	375
W 530x92	3			3	276
W 250x80	9			9	720
W 310x107	12			12	1284
W 360x122	3			3	366
W 250x73	18			18	1314
W 200x71	3			3	213
W 200x46,1	9			9	414.9
W 200x41,7	9			9	375.3
W 360x72	6			6	432
W 200x31,3	3	W 200x31,3	211.12	229.12	7171.456
W 310x23,8	6	W 310x23,8	85.8	97.8	2327.64
W 250x28,4	3	W 250x28,4	37.44	40.44	1148.496
W 200x35,9	6	W 200x35,9	83.46	89.46	3211.614
	0	W 200x15	129.69	165.69	2485.35
	0	W 200x22,5	100.89	106.89	2405.025
	0	W 460x52	53.69	68.69	3571.88
	0	W 250x17,9	175.77	178.77	3199.983
	0	W 250x22,3	109.2	112.2	2502.06
	0	W 150x18	96.93	105.93	1906.74

Fonte: do autor (2019).

Tabela 29 - Concreto (12 Pavimentos - Estrutura Mista)

Pavimento	Concreto (m³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	0	17.6	0	0
12 Andar	0	0	17.6	0	0
11 Andar	0	0	17.6	0	0
10 Andar	0	0	17.6	0	0
9 Andar	0	0	17.6	0	0
8 Andar	0	0	17.6	0	0
7 Andar	0	0	17.6	0	0
6 Andar	0	0	17.6	0	0
5 Andar	0	0	17.6	0	0
4 Andar	0	0	17.6	0	0
3 Andar	0	0	17.6	0	0
2 Andar	0	0	17.6	0	0
1 Andar	0	0	17.6	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>228.8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 30 - Formas (12 Pavimentos - Estrutura Mista)

Pavimento	Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	0	0	0	0
12 Andar	0	0	176.4	0	0
11 Andar	0	0	0	0	0
10 Andar	0	0	176.4	0	0
9 Andar	0	0	0	0	0
8 Andar	0	0	0	0	0
7 Andar	0	0	176.4	0	0
6 Andar	0	0	0	0	0
5 Andar	0	0	0	0	0
4 Andar	0	0	176.4	0	0
3 Andar	0	0	0	0	0
2 Andar	0	0	0	0	0
1 Andar	0	0	176.4	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>882</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).



Tabela 31 - Custo da Estrutura (12 Pavimentos - Estrutura Mista)

CUSTO		
CONCRETO	R\$	84,262.46
FORMAS	R\$	23,699.34
AÇO	R\$	737,689.05
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>845,650.85</b>

Fonte: do autor (2019).

Assim como nos outros edifícios em estrutura mista, o item aço é composto pelos custos dos perfis metálicos com as armaduras das lajes. Para o edifício de 16 pavimentos, os quantitativos são dispostos nas Tabelas 32, 33, 34 e 35 e os custos são dispostos na Tabela 36.

Tabela 32 - Bitolas de Aço/Kg (16 Pavimentos - Estrutura Mista)

Pasta	5	6.3	8	10	12.5	16	20
Cobertura	66.7	1043.2	28.8	0	0	0	0
16 Andar	65	1046	28.8	0	0	0	0
15 Andar	65	1045.4	28.8	0	0	0	0
14 Andar	65	1045.4	28.8	0	0	0	0
13 Andar	65	1045.5	28.8	0	0	0	0
12 Andar	65	1045.5	28.8	0	0	0	0
11 Andar	65	1045.6	28.8	0	0	0	0
10 Andar	65	1031.3	72.2	0	0	0	0
9 Andar	65	1031.3	72.2	0	0	0	0
8 Andar	65	1015.1	114.6	0	0	0	0
7 Andar	65	1015.2	71.1	56.2	0	0	0
6 Andar	65	1015.2	28.8	113.4	0	0	0
5 Andar	65	966.3	28.8	236	0	0	0
4 Andar	66.7	912.5	54.8	355.2	0	0	0
3 Andar	66.7	883	37.1	459.4	0	0	0
2 Andar	66.7	879.6	33.4	427.4	96.1	0	0
1 Andar	66.7	833.3	44.3	472.7	63	132.1	370.3
<b>TOTAL</b>	<b>1113.1</b>	<b>16899.3</b>	<b>758.6</b>	<b>2120.5</b>	<b>159.1</b>	<b>132.1</b>	<b>370.3</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 33 - Perfis de Aço (16 Pavimentos - Estrutura Mista)

RELAÇÃO DE PERFIS					
PILARES		VIGAS		TOTAL	MASSA (Kg)
PERFIS	L (m)	PERFIS	L (m)		
W 360x64	108		0	108	6912
W 310x117	30		0	30	3510
W 310x97	51		0	51	4947
W 360x101	12		0	12	1212
W 610x101	18		0	18	1818
HP 310x93	48		0	48	4464
HP 250x85	6		0	6	510
W 310x38,7	75	W 310x38,7	138.04	213.04	8244.648
HP 250x62	12		0	12	744
W 200x59	21		0	21	1239
W 610x140	6		0	6	840
W 200x52	15	W 200x52	329.76	344.76	17927.52
W 250x89	27		0	27	2403
W 360x51	30	W 360x51	317.9	347.9	17742.9
W 250x32,7	12	W 250x32,7	493	505	16513.5
W 530x82	33		0	33	2706
HP 310x79	27			27	2133
W 310x44,5	36	W 310x44,5	67.36	103.36	4599.52
W 530x72	21		0	21	1512
W 360x51	30		0	30	1530
W 360x32,9	48		0	48	1579.2
W 150x29,8	27	W 150x29,8	109.14	136.14	4056.972
W 150x22,5	6	W 150x22,5	0	6	135
W 410x53	18		0	18	954
W 610x155	48		0	48	7440
W 310x143	57		0	57	8151
W 360x44,6	12		0	12	535.2
W 530x138	6		0	6	828
W 310x129	21		0	21	2709
HP 310x125	15		0	15	1875
W 360x110	3		0	3	330
W 360x79	3		0	3	237
W 310x107	30		0	30	3210
W 610x153	3		0	3	459
W 250x73	6		0	6	438
W 200x46,1	15	W 200x46,1	389.14	404.14	18630.85
W 200x41,7	6		0	6	250.2
W 360x72	12		0	12	864
W 200x31,3	3	W 200x31,3	0	3	93.9
W 610x195	30		0	30	5850
W 310x202	30		0	30	6060
W 610x174	15		0	15	2610
W 200x35,9	15	W 200x35,9	0	15	538.5
	0	W 150x24	60.69	60.69	1456.56
	0	W 200x26,6	142.8	142.8	3798.48
	0	W 410x60	140.42	140.42	8425.2
	0	W 410x38,8	129.54	129.54	5026.152
	0	W 250x25,3	55.08	55.08	1393.524
	0	W 310x21	48.45	48.45	1017.45

Fonte: do autor (2019).

Tabela 34 - Concreto (16 Pavimentos - Estrutura Mista)

Pavimento	Concreto (m³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	0	17.6	0	0
16 Andar	0	0	17.6	0	0
15 Andar	0	0	17.6	0	0
14 Andar	0	0	17.6	0	0
13 Andar	0	0	17.6	0	0
12 Andar	0	0	17.6	0	0
11 Andar	0	0	17.6	0	0
10 Andar	0	0	17.6	0	0
9 Andar	0	0	17.6	0	0
8 Andar	0	0	17.6	0	0
7 Andar	0	0	17.6	0	0
6 Andar	0	0	17.6	0	0
5 Andar	0	0	17.6	0	0
4 Andar	0	0	17.6	0	0
3 Andar	0	0	17.6	0	0
2 Andar	0	0	17.6	0	0
1 Andar	0	0	17.6	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>299.2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 35 - Formas (16 Pavimentos - Estrutura Mista)

Pavimento	Fôrmas (m²)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	0	0	0	0
16 Andar	0	0	176.4	0	0
15 Andar	0	0	0	0	0
14 Andar	0	0	0	0	0
13 Andar	0	0	176.4	0	0
12 Andar	0	0	0	0	0
11 Andar	0	0	0	0	0
10 Andar	0	0	176.4	0	0
9 Andar	0	0	0	0	0
8 Andar	0	0	0	0	0
7 Andar	0	0	176.4	0	0
6 Andar	0	0	0	0	0
5 Andar	0	0	0	0	0
4 Andar	0	0	176.4	0	0
3 Andar	0	0	0	0	0
2 Andar	0	0	0	0	0
1 Andar	0	0	176.4	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1058.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: do autor (2019).

Tabela 36 - Custo da Estrutura (16 Pavimentos - Estrutura Mista)

CUSTO		
CONCRETO	R\$	110,189.38
FORMAS	R\$	28,439.21
AÇO	R\$	1,181,183.76
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>1,319,812.34</b>

Fonte: do autor (2019).

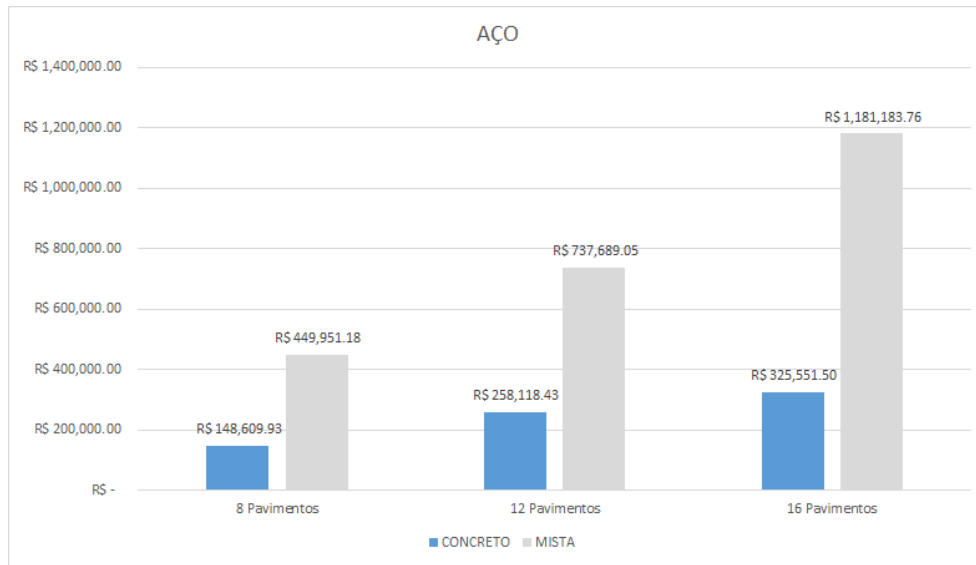
### 4.3 Comparativo

Com base no relatório de quantitativos de custos, é possível identificar em quais materiais cada sistema estrutural propicia maior economia, sendo que cada edifício foi comparado com o seu correspondente em número de pavimentos no outro sistema. Desta forma, é possível observar as tendências de cada sistema estrutural.

#### 4.3.1 Aço

Para o aço, conforme esperado, há maior utilização deste material nos edifícios em estrutura mista. Como os pilares e as vigas são compostas exclusivamente por este material, a diferença é menor no edifício em 8 pavimentos e apresenta oscilações conforme o aumento do número de pavimentos: os custos de aço para as estruturas mistas são 303%, 286% e 363% maiores que para os edifícios em 8, 12 e 16 pavimentos em concreto armado, respectivamente. A Figura 32 demonstra a situação abordada.

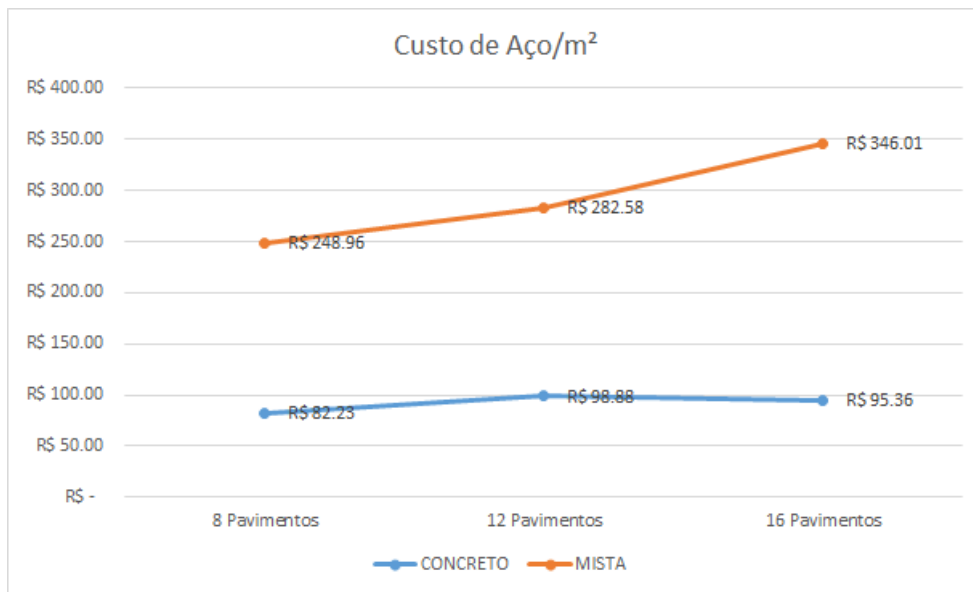
Figura 32 - Comparativo de Custos (Aço)



Fonte: do autor (2019).

Em relação ao custo deste material em relação ao custo total de cada edifício, para as estruturas em concreto armado estes valores ficam estimados entre 40% e 50% do total: 48,11%, 49,84% e 46,87% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente; enquanto para as estruturas mistas o custo do aço representa entre 80% e 90% do valor total das estruturas: 86,28%, 87,23% e 89,50% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. Esta diferença é acentuada pois a maioria dos elementos é composta exclusivamente por aço (vigas, pilares e elementos de contraventamento), que também possui elevado custo por Kg.

Em relação aos valores observados para o custo por metro quadrado, as estruturas mistas também apresentam valores mais elevados e aumentam conforme o número de pavimentos, enquanto para as estruturas de concreto armado os valores observados seguem uma tendência linear de consumo. Os custos por metro quadrado são observados na Figura 33.

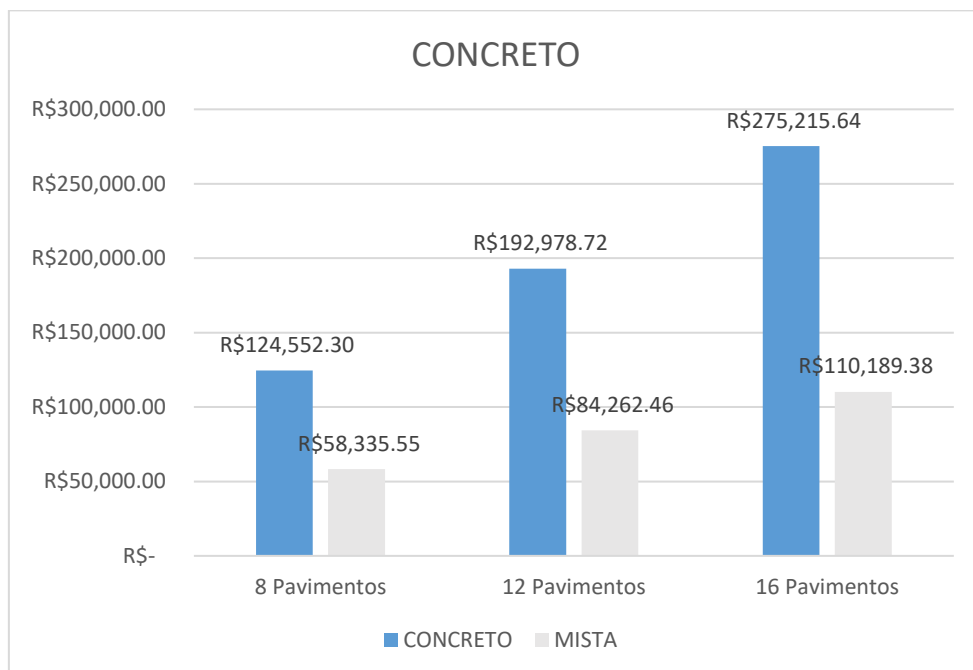
Figura 33 - Custo de Aço/m<sup>2</sup>

Fonte: do autor (2019).

#### 4.3.2 Concreto

Para as estruturas mistas, tem-se o concreto somente nas lajes, logo, observa-se um consumo muito maior deste material para o sistema em concreto armado. Quanto maior o número de pavimentos, maior a diferença para estes dois sistemas: os edifícios em concreto armado apresentam custo percentual 213,51%, 229,02% e 249,77% maior que os edifícios de 8, 12 e 16 pavimentos em concreto armado, respectivamente. A Figura 34 demonstra a situação abordada e os valores estimados para cada estrutura.

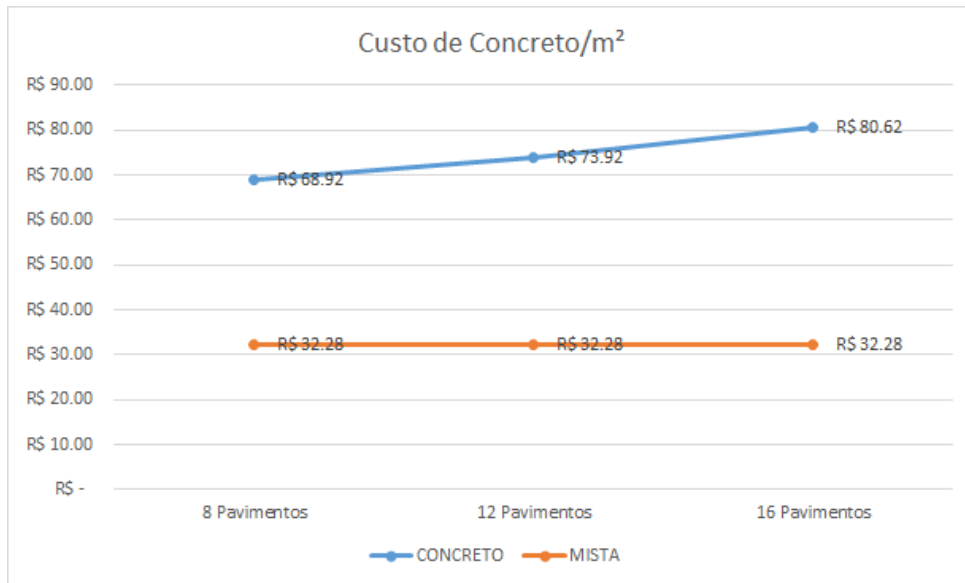
Figura 34 - Comparativo de Custos (Concreto)



Fonte: do autor (2019).

Em relação ao custo deste material comparado com o custo final de cada edifício, para as estruturas de concreto armado este insumo representa entre 35% e cerca de 40% do custo final para cada edifício: 40,32%, 37,27% e 39,63% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente; para as estruturas mistas, o concreto representa percentuais inferiores a 15% do custo final da estrutura: 11,19%, 9,96% e 8,35% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente.

Para o custo em metro quadrado, observa-se que as estruturas em concreto armado apresentam maiores consumos conforme há aumento no número de pavimentos e as estruturas mistas apresentam consumo totalmente linear, já que as lajes de todos os pavimentos possuem as mesmas características. A Figura 35 ilustra a situação abordada.

Figura 35 - Custo de Concreto/m<sup>2</sup>

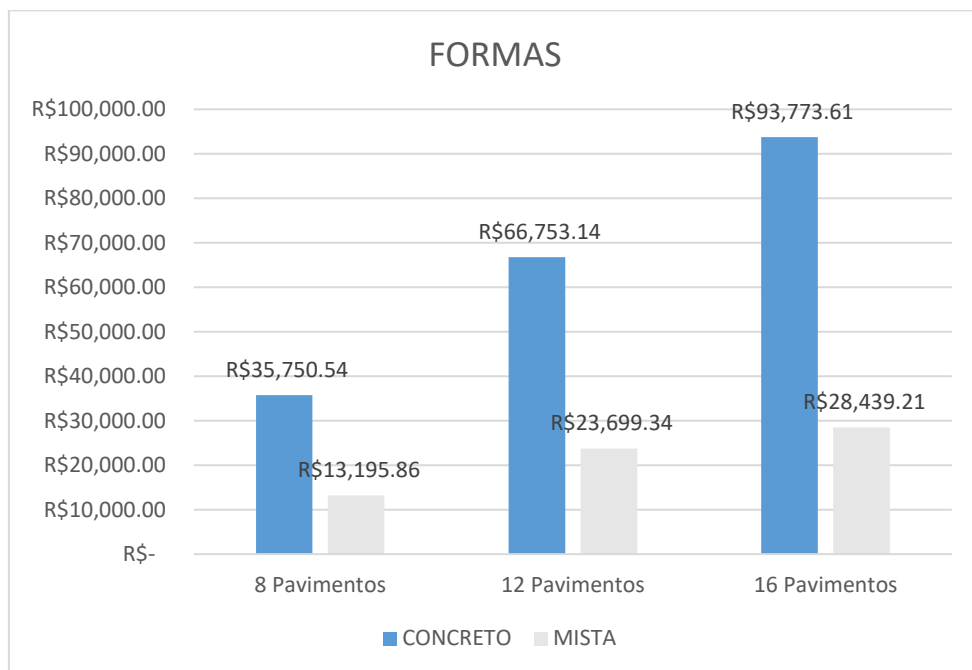
Fonte: do autor (2019).

#### 4.3.3 Formas

Como as estruturas mistas possuem somente as lajes em concreto, a quantidade de formas é bem menor para este sistema, já que os pilares e as vigas não necessitam destes materiais. Desta forma, observa-se que, quanto maior o número de pavimentos, maior a diferença em relação ao consumo de formas. Em relação ao custo das formas utilizadas nas estruturas mistas, as estruturas de concreto armado representam 270,92%, 281,67% e 329,73% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. A Figura 36 ilustra a situação abordada e os custos totais deste material para cada edifício.



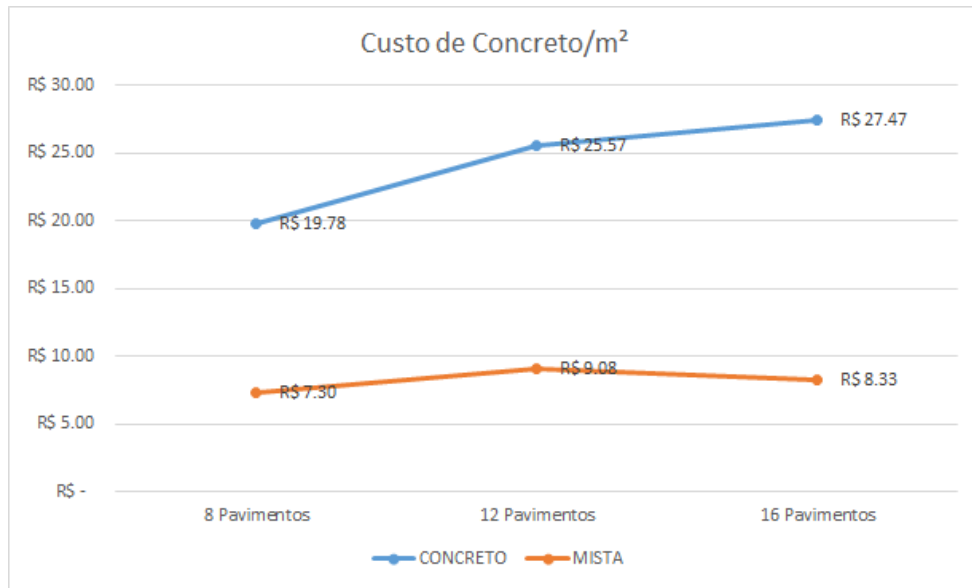
Figura 36 - Comparativo de Custos (Formas)



Fonte: do autor (2019).

Em relação ao custo total de cada edifício, para as estruturas de concreto armado, as formas representam percentuais inferiores a 15%, com o reaproveitamento para concretagem em outros pavimentos: 11,57%, 12,89% e 13,50% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. Para as estruturas mistas, os percentuais são muito baixos: 2,53%, 2,80% e 2,15% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente.

Para o consumo de formas por metro quadrado, observa-se que o consumo de formas aumenta conforme o número de pavimentos, para as estruturas de concreto armado, e apresenta comportamento praticamente linear para as estruturas mistas. A situação é observada na Figura 37.

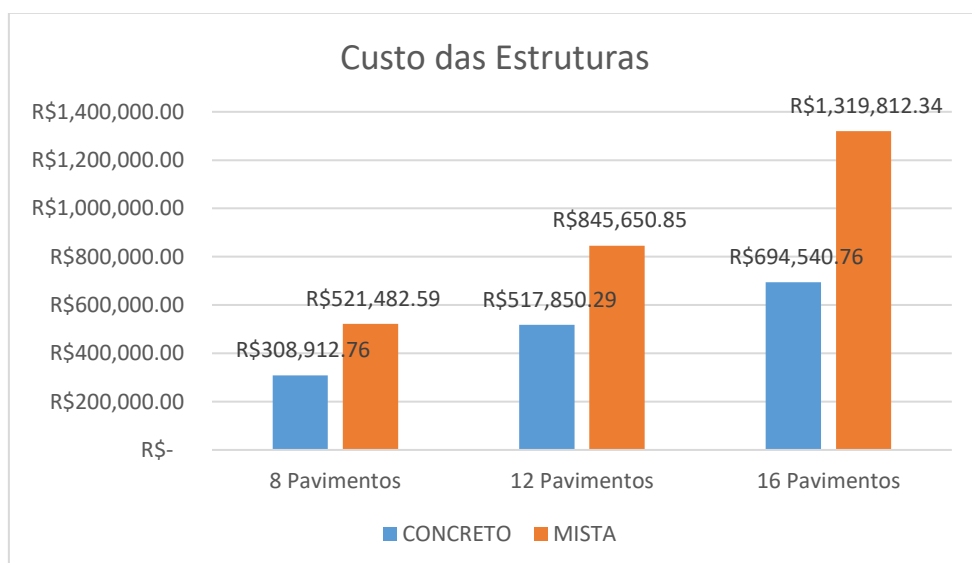
Figura 37 - Custo de Formas/m<sup>2</sup>

Fonte: do autor (2019).

#### 4.3.4 Comparativo Geral

Em relação aos custos de cada edifício, o sistema estrutural em concreto armado apresentou vantagem em todas as situações analisadas (8, 12 e 16 pavimentos). A Figura 38 demonstra os custos finais dos seis edifícios.

Figura 38 - Comparativo de Custos (Geral)

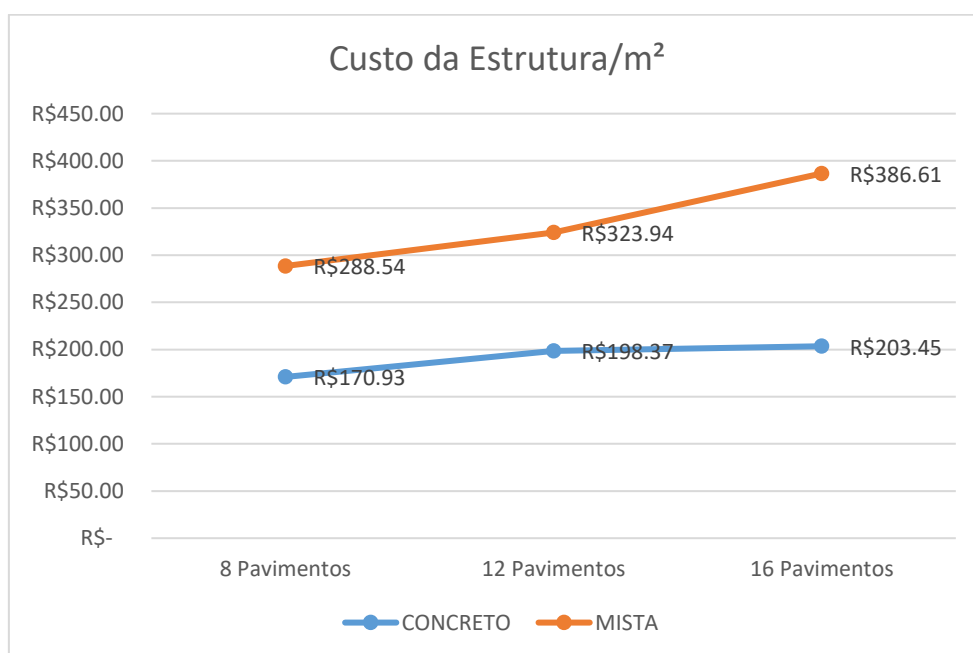


Fonte: do autor (2019).

Como é possível observar, os edifícios em estrutura mista possuem custos finais muito maiores que para os edifícios em concreto armado. Em valores percentuais, os modelos em estrutura mista apresentam custo 168,81%, 163,30% e 190,03% maiores que o sistema em concreto armado para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. Isto é devido, principalmente, ao maior custo dos perfis metálicos por quilograma em comparação aos vergalhões utilizados nas armaduras. Além disto, o sistema de contraventamento com vigas metálicas inclinadas foi utilizado nos modelos em estrutura mista, enquanto a configuração em concreto armado não apresentou a utilização deste sistema. Isto representou um custo adicional para estes modelos e, apesar de necessários, acabaram desfavorecidos com este custo extra.

Em relação ao custo por metro quadrado, os edifícios em concreto armado apresentaram tendência de aumento para cada edifício, apesar dos valores encontrados apresentarem grande proximidade. Por outro lado, os edifícios em estrutura mista apresentam grande diferença de custo por metro quadrado para cada edifício, já que, com o aumento do número de pavimentos, tanto as vigas quanto os pilares e os elementos de contraventamento tiveram que ser mais robustos. Com o consequente aumento no número de perfis com elevada massa linear, os custos foram mais elevados para edifícios mais altos. A Figura 39 ilustra a situação abordada e o custo de cada sistema por metro quadrado de edifício.

Figura 39 - Custo da Estrutura/m<sup>2</sup>



Fonte: do autor (2019).

### 4.3.5 Aspectos Qualitativos

Além destes tópicos, é importante observar outras questões para definir qual o melhor sistema estrutural para cada edifício. Por isto, foram elaboradas duas tabelas com as observações acerca dos modelos elaborados em cada sistema. O Quadro 5 retrata as observações para as estruturas de concreto armado e o Quadro 6 retrata as observações para as estruturas mistas.

Quadro 5 - Observações (Estruturas de Concreto Armado)

Pontos Positivos	Pontos Negativos
Possibilidade de cada estrutura ter diferentes geometrias;	Estruturas robustas nos primeiros pavimentos
Facilidade de orçar;	Vigas altas em grandes vãos;
Menor custo.	

Fonte: do autor (2019).

Quadro 6 - Observações (Estruturas Mistas)

Pontos Positivos	Pontos Negativos
Estruturas esbeltas;	Cada perfil tem tamanho restrito;
Boa liberdade arquitetônica.	Grande variação nos orçamentos.
	Alto custo dos perfis metálicos, já que não houve padronização.

Fonte: do autor (2019).

Em relação aos edifícios desenvolvidos em concreto armado, observa-se que, para o projeto arquitetônico desenvolvido, os menores prejuízos arquitetônicos são identificados no edifício com 8 pavimentos, enquanto os edifícios com 12 e 16 pavimentos já apresentam alguns prejuízos em relação aos pilares. Um aspecto interessante dos edifícios em concreto armado é a facilidade de flexibilizar estas estruturas de acordo com as dimensões necessárias para as paredes e revestimentos. Desta forma, é possível modelar de acordo com as preferências e necessidades do engenheiro projetista.

Para os edifícios em estrutura mista, observa-se que as estruturas são muito mais esbeltas, o que possibilita boa liberdade arquitetônica. Para os primeiros pavimentos de cada edifício, porém, a situação é um pouco mais complexa porque

muitas estruturas apresentam dimensões maiores que as estipuladas para as paredes. Desta forma, é inevitável que hajam prejuízos arquitetônicos, já que os perfis possuem dimensões restritas. Para os últimos pavimentos, por outro lado, as estruturas possuem dimensões muito menores que as paredes, exigindo aplicação de grande quantidade de revestimento. Por outro lado, o projeto arquitetônico foi adequado para um sistema estrutural em concreto armado, já que não era possível valorizar a estrutura em aço. Atualmente, muitas construções colocam os perfis metálicos em destaque, como elementos em fachadas e em posição de destaque em projetos arquitetônicos, de forma que fiquem aparentes.

## 5 CONCLUSÃO

Posteriormente, ao finalizar os desenvolvimentos dos seis modelos distintos no *software* CAD/TQS e realizar inúmeras simulações acerca de cada modelo e calcular os seus custos correspondentes, o objetivo geral da pesquisa – calcular e comparar os custos de edifícios projetados em concreto armado e em estrutura mista – foi atendido.

Para os edifícios em concreto armado, em relação ao consumo, há maior utilização de concreto e formas neste sistema e menor demanda de aço neste sistema, conforme esperado, mas os maiores custos dos edifícios foram em relação às armaduras, que possuem valores altos por massa de aço utilizada: em relação ao custo total, o percentual de custo das armaduras foi de 48,1%, 49,84% e 46,87% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. Em relação aos custos das estruturas, todos edifícios apresentaram maior potencial econômico, sendo que os valores encontrados foram na ordem de R\$ 308.912,76, R\$ 517. 850,29 e R\$ 694.540,76 para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente.

Para os edifícios em estrutura mista, em relação ao consumo, já que as vigas e os pilares são metálicos, a quantidade deste material é muito maior que nos edifícios em concreto armado, enquanto as formas e o concreto foram utilizados em menor quantidade em relação ao outro sistema. O percentual de aço utilizado, em relação ao custo final de cada estrutura, foi na ordem de 86,28%, 87,23% e 89,50% para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente. Os custos totais das estruturas foram de R\$ 521.482,59, R\$ 845.650,85 e R\$ 1.319.812,34 para 8, 12 e 16 pavimentos, respectivamente.

Conforme os edifícios em estrutura mista possuem maior quantidade de aço utilizado, em função dos perfis utilizados em vigas e pilares, o custo destes edifícios é

bem maior em comparação ao concreto armado. Como foram utilizados elementos inclinados para contraventamento e a mesma quantidade de vigas e pilares, além do maior custo dos perfis metálicos, por quilograma, em relação aos vergalhões, os custos destes edifícios foram muito elevados. Para efeitos de comparação, o custo do aço para os edifícios em estrutura mista de 8, 12 e 16 pavimentos, em relação ao total, foi de 86,28%, 87,23% e 89,50%, respectivamente, enquanto para os edifícios em concreto armado de 8, 12 e 16 pavimentos, em relação ao total, foi de 48,1%, 49,84% e 46,87%. Desta forma, é possível identificar que os maiores responsáveis deste custo elevado foram as vigas e os pilares.

Como os custos das estruturas dos seis modelos estudados foram obtidos, o objetivo geral foi atendido. Para futuras pesquisas, é interessante considerar situações como a mão-de-obra para cada edifício e, se possível, utilizar pilares e vigas mistas aço-concreto – pilares e vigas compostos por perfis metálicos incorporados por uma capa de concreto, com atuação conjunta para resistir às solicitações. Com a atuação conjunta dos materiais, há boa perspectiva de aumento na economia.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

**ABNT.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro/RJ. ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_ **NBR 6120:** Cargas para o Cálculo de Edificações. ABNT, 1980.

\_\_\_\_\_ **NBR 6123:** Forças devidas ao Vento em Edificações. ABNT, 1988.

\_\_\_\_\_ **NBR 8681:** Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento. ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_ **NBR 8800:** Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. ABNT, 2008.

ARAÚJO, José Milton de. **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado:** Um Exemplo Completo. 3ª ed. Rio Grande/RS. Editora Dunas, 2014.

BLESSMANN, Joaquim. **O Vento na Engenharia Estrutural.** 1ª ed. Porto Alegre/RS. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

BORGES, Alberto Nogueira. **Curso Prático de Cálculo em Concreto Armado:** Projeto de Edifícios. 3ª ed. Rio de Janeiro/RJ. Imperial Novo Milênio, 2015.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado Eu Te Amo:** Volume 1. 6ª ed. São Paulo/SP. Editora Edgar Blucher Ltda., 2010.

CAD/TQS. **Sobre o sistema CAD/TQS:** o que é o sistema CAD/TQS? Para que ele serve?. C2019. Disponível: < <http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/sobre-o-sistema-cadtqs>>. Acesso em: 27 de abril de 2019.

CARMO, Carla Soraia Leandro do. **Automação de detalhamento de peças padronizadas em concreto armado via CAD e programação orientada a objetos.** 2001. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/78M.PDF>>. Acessado em: 20 de abril de 2019.



CBCA. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Construção em Aço: Vantagens**. Rio de Janeiro/RJ. CBCA, 2018.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, Dimensionamento e Verificação**. 2ª ed. Brasília/DF. Editora UnB, 2015.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem**. 4ª ed. São Paulo/SP. Ziguarte Editora, 2002.

FABRIZZI apud CARINI, Matheus Roman. **Estruturas Mistas de Aço e Concreto: Projeto de Edifício Comercial**. 2014. 158 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2014.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo/SP. Editora PINI, 2013.

KIMURA, Alio. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado: Cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1ª ed. São Paulo/SP. Editora PINI, 2007.

KRISTINER, Isabel. **Análise Comparativa com Enfoque na Estabilidade Global de Edifícios de Múltiplos Pavimentos Utilizando o Modelo IV e o Modelo VI do Software CAD/TQS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari/Univates, Lajeado/RS, 2019.

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos**. 2ª ed. Rio de Janeiro/RJ. Elsevier Editora, 2010.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8ª ed. Rio de Janeiro/RJ. LTC, 2016.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança Pinheiro; CRIVELARO, Marcos. **Planejamento e Custos de Obras**. 1ª ed. São Paulo/SP. Saraiva Educação, 2014.

PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain. **Ação do Vento em Edificações: Apostila - Capítulo 3**. Passo Fundo/RS. UPF, 2006.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas Mistas: Volume 1**. 2ª ed. Rio de Janeiro/RJ. CBCA, 2012.

\_\_\_\_\_. **Estruturas Mistas: Volume 2**. 2ª ed. Rio de Janeiro/RJ. CBCA, 2012.

RAMOS, Ageu. **Incorporação Imobiliária: Roteiro para Avaliação de Projetos**. 1ª ed. Brasília/DF. Lettera Editora LTDA., 2002.

SOUZA, João Carlos. **Aprenda a pré-dimensionar uma estrutura em concreto armado**. 01 de abril de 2018. ArchDaily Brasil. Acessado em: 28 Abr 2019.

<<https://www.archdaily.com.br/br/891672/aprenda-a-pre-dimensionar-uma-estrutura-em-concreto-armado>> ISSN 0719-8906.

TISAKA, Maçahiko. **Orçamento na Construção Civil**: Consultoria, Projeto e Execução. 1ª ed. São Paulo/SP. Editora Pini, 2006.

## APÊNDICE A – Planta Baixa do Pavimento-Tipo

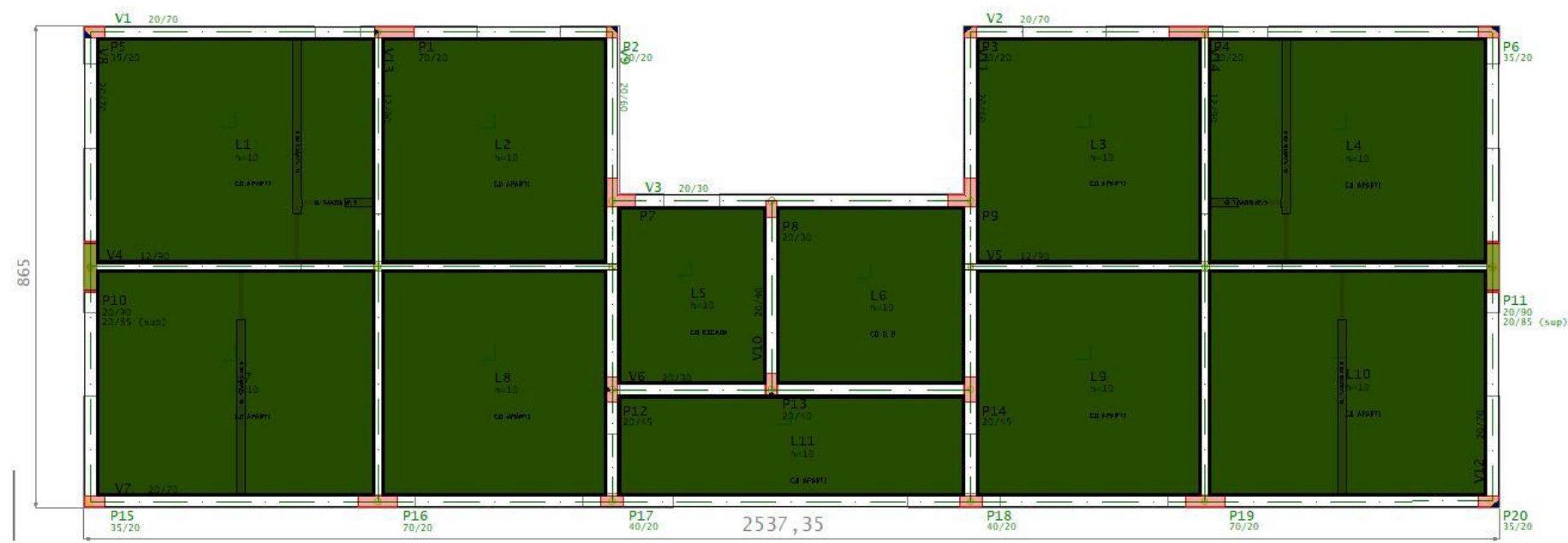


### PAVIMENTO-TIPO

PLANTA BAIXA  
A: 200,81 m²

Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE B – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (8 Pavimentos – Concreto Armado)



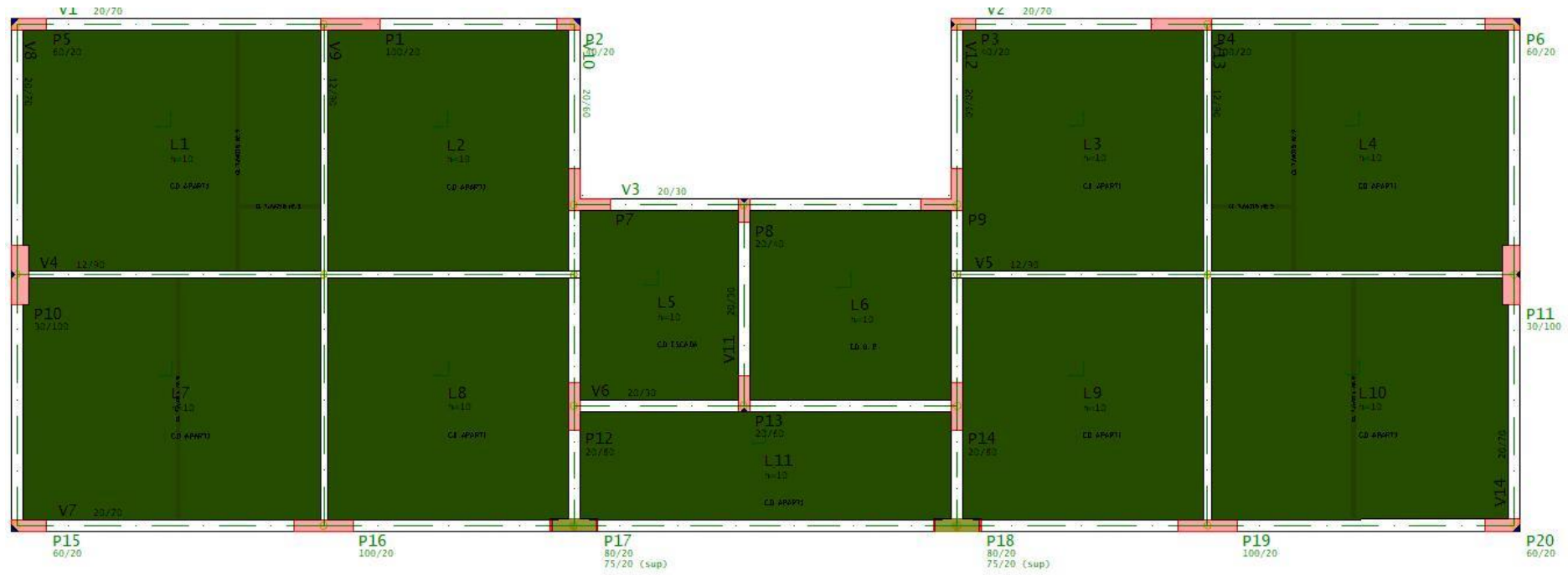
Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE C – Relação de Pilares (8 Pavimentos – Concreto Armado)

Pilar	Seção (b x h)								
	1º Pav	2º Pav	3º Pav	4º Pav	5º Pav	6º Pav	7º Pav	8º Pav	Cobertura
P1	70 x 20		65 x 20		60 x 20				
P2	20 x 20								
P3	20 x 20								
P4	70 x 20		65 x 20		60 x 20				
P5	35 x 20								
P6	35 x 20								
P7 (L)	50 x 50 x 20 x 20								
P8	20 x 30								
P9 (L)	50 x 50 x 20 x 20								
P10	20 x 90	20 x 85	20 x 80	20 x 75					
P11	20 x 90	20 x 85	20 x 80	20 x 75					
P12	20 x 45								
P13	20 x 40								
P14	20 x 45								
P15	35 x 20								
P16	70 x 20		65 x 20		60 x 20				
P17	40 x 20								
P18	40 x 20								
P19	70 x 20		65 x 20		60 x 20				
P20	35 x 20								

Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE D – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (12 Pavimentos – Concreto Armado)



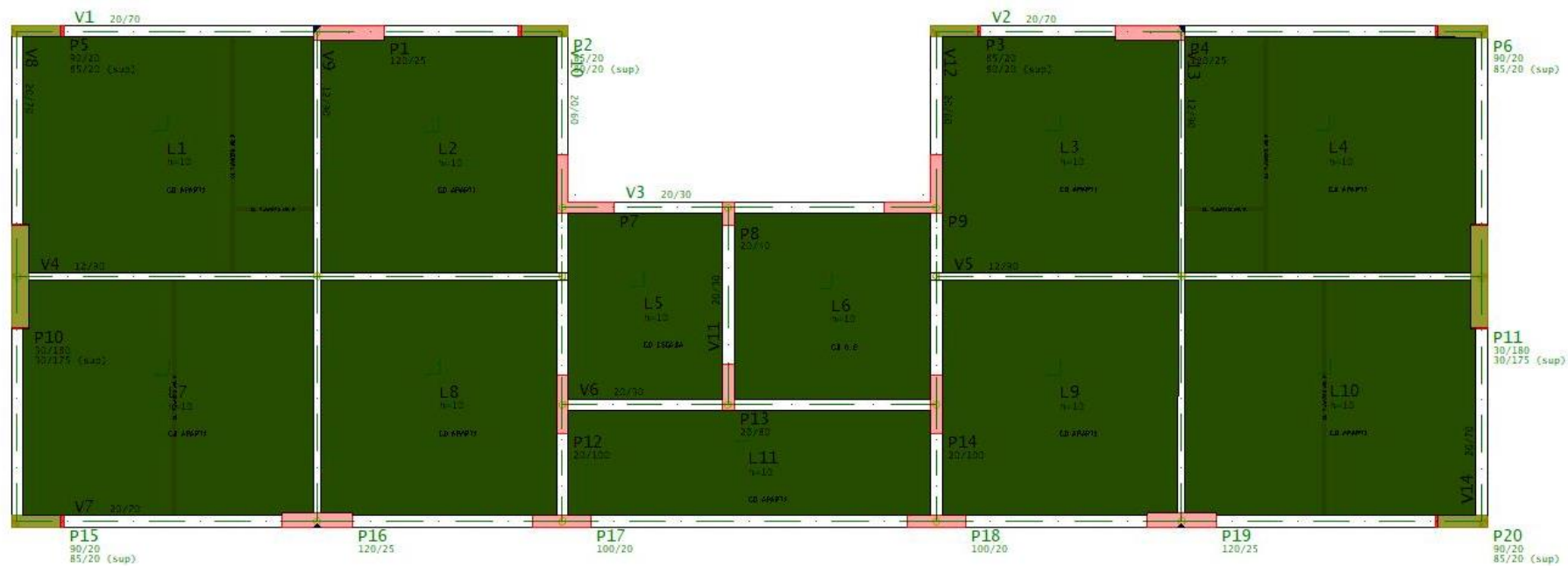
Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE E – Relação de Pilares (12 Pavimentos – Concreto Armado)

Pilar	Seção (b x h)												
	1º Pav	2º Pav	3º Pav	4º Pav	5º Pav	6º Pav	7º Pav	8º Pav	9º Pav	10º Pav	11º Pav	12º Pav	Cobertura
P1	100 x 20		95 x 20	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20	50 x 20	
P2	40 x 20												
P3	40 x 20												
P4	100 x 20		95 x 20	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20	50 x 20	
P5	60 x 20		55 x 20										
P6	60 x 20		55 x 20										
P7 (L)													
P8	20 x 40												
P9 (L)													
P10	30 x 100		30 x 95	30 x 90	30 x 85		30 x 80						
P11	30 x 100		30 x 95	30 x 90	30 x 85		30 x 80						
P12	20 x 80				20 x 75	20 x 70	20 x 65		20 x 60				
P13	20 x 60			20 x 55	20 x 50								
P14	20 x 80				20 x 75	20 x 70	20 x 65		20 x 60				
P15	60 x 20		55 x 20										
P16	100 x 20		95 x 20	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20	50 x 20	
P17	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20	50 x 20						
P18	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20	50 x 20						
P19	100 x 20		95 x 20	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20	50 x 20	
P20	60 x 20		55 x 20										

Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE F – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (16 Pavimentos – Concreto Armado)



Fonte: do autor (2019).



## APÊNDICE G – Relação de Pilares (16 Pavimentos – Concreto Armado)

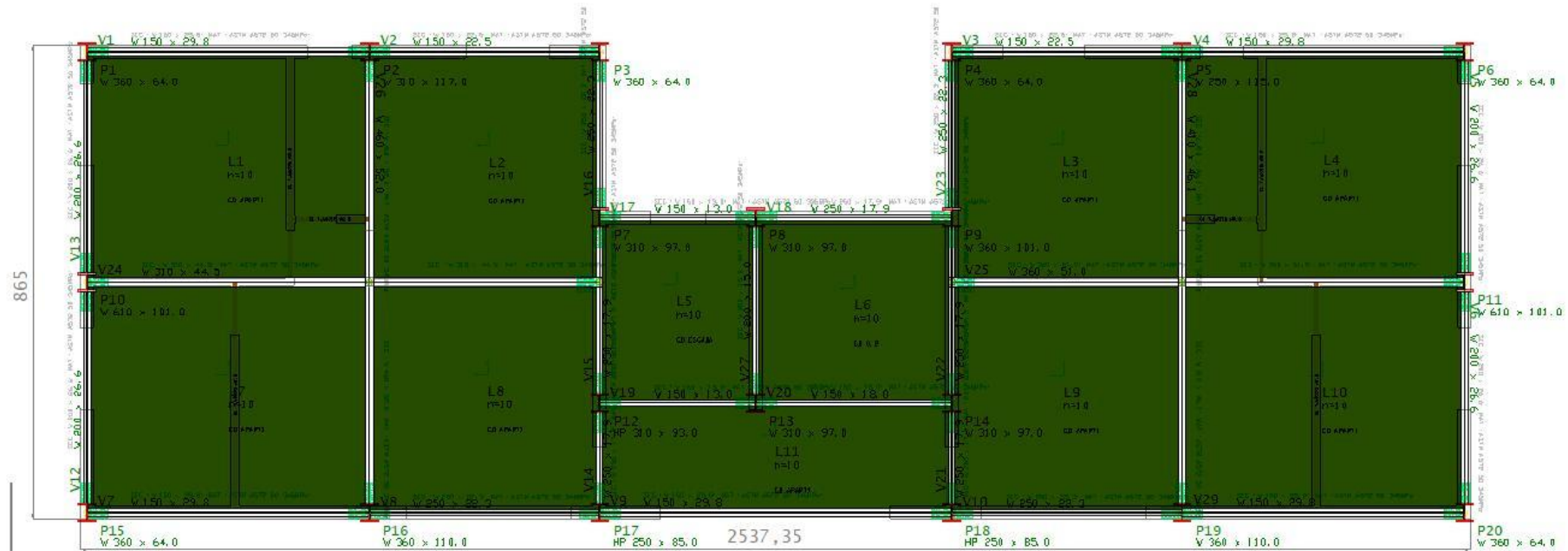
Pilar	Seção (b x h)																
	1º Pav	2º Pav	3º Pav	4º Pav	5º Pav	6º Pav	7º Pav	8º Pav	9º Pav	10º Pav	11º Pav	12º Pav	13º Pav	14º Pav	15º Pav	16º Pav	Cobertura
P1	120 x 25		115 x 25	110 x 25	105 x 25	100 x 25	95 x 25	90 x 25	85 x 25	80 x 25	75 x 25	70 x 25	65 x 25	60 x 25			55 x 25
P2	85 x 20	80 x 20		75 x 20		70 x 20		65 x 20	60 x 20	55 x 20							
P3	85 x 20	80 x 20		75 x 20		70 x 20		65 x 20	60 x 20	55 x 20							
P4	120 x 25		115 x 25	110 x 25	105 x 25	100 x 25	95 x 25	90 x 25	85 x 25	80 x 25	75 x 25	70 x 25	65 x 25	60 x 25			55 x 25
P5	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20		60 x 20	55 x 20								
P6	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20		60 x 20	55 x 20								
P7 (L)	100 x 100 x 20 x 20																
P8	20 x 40																
P9 (L)	100 x 100 x 20 x 20																
P10	30 x 180	30 x 175	30 x 170	30 x 165	30 x 160		30 x 155			30 x 150		30 x 145		30 x 140			
P11	30 x 180	30 x 175	30 x 170	30 x 165	30 x 160		30 x 155			30 x 150		30 x 145		30 x 140			
P12	20 x 100			20 x 95			20 x 90		20 x 85	20 x 80			20 x 75				

CONTINUA

P13	20 x 80			20 x 75			20 x 70	20 x 65	20 x 60			20 x 55				
P14	20 x 100			20 x 95			20 x 90		20 x 85	20 x 80			20 x 75			
P15	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20		60 x 20	55 x 20							
P16	120 x 25		115 x 25	110 x 25	105 x 25	100 x 25	95 x 25	90 x 25	85 x 25	80 x 25	75 x 25	70 x 25	65 x 25	60 x 25		55 x 25
P17	100 x 20		95 x 20		90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20				
P18	100 x 20		95 x 20		90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20	60 x 20	55 x 20				
P19	120 x 25		115 x 25	110 x 25	105 x 25	100 x 25	95 x 25	90 x 25	85 x 25	80 x 25	75 x 25	70 x 25	65 x 25	60 x 25		55 x 25
P20	90 x 20	85 x 20	80 x 20	75 x 20	70 x 20	65 x 20		60 x 20	55 x 20							

Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE H – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (8 Pavimentos – Estrutura Mista)



Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE I – Relação de Pilares (8 Pavimentos – Estrutura Mista)

Pilar	Seção (W ou HP*)							
	1º Andar	2º Andar	3º Andar	4º Andar	5º Andar	6º Andar	7º Andar	8º Andar
P1	W 360x64	W 310x38,7	W 310x38,7	W 250x32,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P2	W 310x117	W 310x97	W 250x89	W 530x82	W 360x64	W 360x64	W 360x51	W 410x53
P3	W 360x64	W 310x38,7	W 250x32,7	W 250x32,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 150x29,8	W 360x32,9
P4	W 360x64	W 310x38,7	W 250x32,7	W 250x32,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 150x29,8	W 360x32,9
P5	W 250x115	HP 310x93	W 530x82	HP 310x79	W 360x64	W 360x64	W 310x44,5	W 360x51
P6	W 360x64	W 310x38,7	W 310x38,7	W 250x32,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P7	W 310x97	HP 250x62	W 200x52	W 310x44,5	W 250x38,5	W 250x32,7	W 150x29,8	W 360x32,9
P8	W 310x97	W 200x59	W 200x46,1	W 200x41,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 150x29,8	W 150x22,5
P9	W 360x101	HP 250x62	W 200x59	W 310x44,5	W 310x38,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 150x29,8
P10	W 610x101	W 530x72	W 530x72	W 410x53	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 530x72
P11	W 610x101	W 530x72	W 530x72	W 410x53	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 530x72
P12	HP 310x93	W 200x59	W 200x52	W 310x44,5	W 250x38,5	W 250x32,7	W 150x29,8	W 310x38,7
P13	W 310x97	W 200x52	W 200x46,1	W 310x38,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 150x22,5	W 250x32,7
P14	W 310x97	W 200x59	W 360x51	W 310x44,5	W 250x32,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 150x29,8
P15	W 360x64	W 310x38,7	W 310x38,7	W 250x32,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P16	W 360x110	W 250x89	HP 310x79	W 360x64	W 360x64	W 360x51	W 310x44,5	W 360x51
P17	HP 250x85	W 360x51	W 310x44,5	W 310x44,5	W 250x32,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 310x38,7
P18	HP 250x85	W 360x51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 250x32,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 310x38,7
P19	W 360x110	W 250x89	W 250x80	W 360x64	W 360x64	W 360x51	W 310x44,5	W 360x51
P20	W 360x64	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9

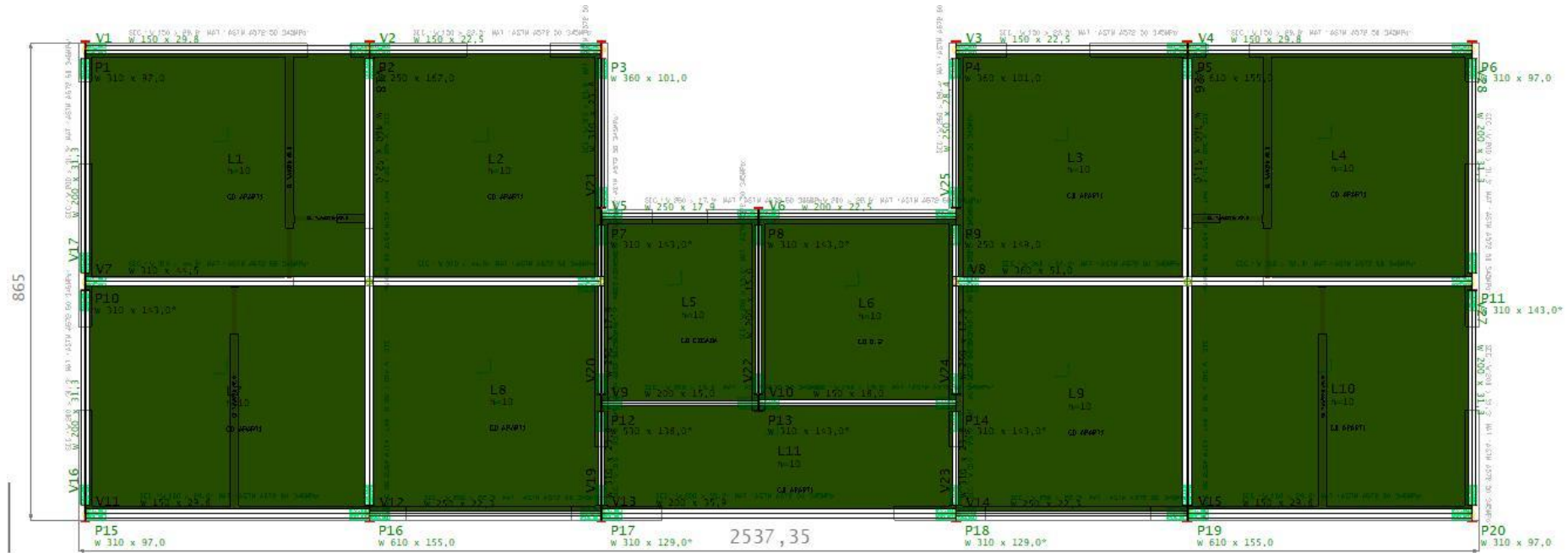
Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE J – Relação de Vigas (8 Pavimentos – Estrutura Mista)

Viga	Seção (W ou HP*)								
	1º Andar	2º Andar	3º Andar	4º Andar	5º Andar	6º Andar	7º Andar	8º Andar	Cobertura
V1					W 150x29.8				
V2					W 150x22.5				
V3					W 150x22.5				
V4					W 150x29.8				
V5					W 200x26.6				
V6					W 200x26.6				
V7					W 150x29.8				
V8					W 250x22.3				
V9					W 150x29.8				
V10					W 250x22.3				
V11					W 200x26.6				
V12					W 200x26.6				
V13					W 250x17.9				
V14					W 250x17.9				
V15					W 250x22.3				
V16					W 150x13				
V17					W 250x17.9				
V18					W 150x13				
V19					W 150x18				
V20					W 250x17.9				
V21					W 250x17.9				
V22					W 250x22.3				
V23					W 310x44.5				
V24					W 360x51				
V25					W 460x52				
V26					W 200x15				
V27					W 410x46.1				
V28					W 150x29.8				
VR1					W 150x29.8				
VR2					W 150x29.8				
VR3					W 150x29.8				
VR4					W 150x29.8				
VR5					W 150x29.8				
VR6					W 150x29.8				
VR7					W 150x29.8				
VR8					W 150x29.8				
VR9					W 150x29.8				
VR10					W 150x29.8				

Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE K – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (12 Pavimentos – Estrutura Mista)



Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE L – Relação de Pilares (12 Pavimentos – Estrutura Mista)

Pilar	Seção (W x HP*)											
	1º Pav	2º Pav	3º Pav	4º Pav	5º Pav	6º Pav	7º Pav	8º Pav	9º Pav	10º Pav	11º Pav	12º Pav
P1	W 310x97	W 360x64	W 360x64	W 410x53	W 360X51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P2	W 250x167	W 310x129	W 360x122	W 310x117	W 310x107	W 310x97	W 530x92	W 530x82	W 360x72	W 360x64	W 360x51	W 360x64
P3	W 360x101	W 360x64	W 360x64	HP 250x62	W 360X51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P4	W 360x101	W 360x64	W 360x64	HP 250x62	W 360X51	W 310x44,5	W 310x44,5	W 310x38,7	W 310x38,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P5	W 610x155	HP 310x125	W 310x117	W 310x107	W 310x97	HP 310x93	W 250x89	HP 310x79	W 360x64	W 360x64	W 360x51	W 410x53
P6	W 310x97	W 360x64	W 360x64	W 360x64	W 360X51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P7	W 310x143	HP 310x93	HP 250x85	W 250x73	W 360x64	W 200x59	W 360x51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 150x29,8
P8	W 310x143	W 250x89	W 250x73	HP 250x62	W 200x59	W 200x46,1	W 310x44,5	W 200x41,7	W 310x38,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 150x22,5
P9	W 250x149	HP 310x93	W 250x89	W 250x73	W 360x64	W 200x59	W 360x51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 200x31,3
P10	W 310x143	W 610x101	W 610x101	W 530x82	W 530x72	W 530x72	W 530x72	W 410x53	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 530x72
P11	W 310x143	W 610x101	W 610x101	W 530x82	W 530x82	W 530x72	W 530x72	W 410x53	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 530x72

CONTINUA

P12	W 530x138	W 250x89	HP 310x79	W 360x72	HP 250x62	W 200x59	W 200x46,1	W 200x41,7	W 200x35,9	W 150x29,8	W 150x29,8	W 250x28,4
P13	W 310x143	W 250x80	W 200x71	HP 250x62	W 200x52	W 200x46,1	W 200x41,7	W 310x38,7	W 200x35,9	W 150x29,8	W 150x29,8	W 150x22,5
P14	W 310x143	W 250x89	HP 310x79	W 250x73	HP 250x62	W 200x59	W 310x44,5	W 310x44,5	W 310x38,7	W 250x32,7	W 150x29,8	W 150x29,8
P15	W 310x97	W 360x64	W 360x64	W 360x64	W 360x51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9
P16	W 610x155	W 310x117	W 310x107	W 360x101	W 310x97	W 250x89	W 250x80	W 250x73	W 360x64	W 360x64	W 310x44,5	W 360x51
P17	W 310x129	W 250x89	HP 250x85	HP 310x79	W 360x64	HP 250x62	W 360x51	W 310x44,5	W 250x32,7	W 250x32,7	W 360x32,9	W 310x23,8
P18	W 310x129	W 250x89	HP 310x79	W 360x64	W 360x64	HP 250x62	W 310x44,5	W 310x44,5	W 250x32,7	W 250x32,7	W 360x32,9	W 310x23,8
P19	W 610x155	W 310x117	W 310x107	W 360x101	W 310x97	W 250x89	W 250x80	W 250x73	W 360x64	W 360x64	W 310x44,5	W 360x51
P20	W 310x97	W 360x64	W 360x64	W 360x64	W 360x51	W 310x44,5	W 310x38,7	W 310x38,7	W 310x38,7	W 360x32,9	W 360x32,9	W 360x32,9

Fonte: do autor (2019).

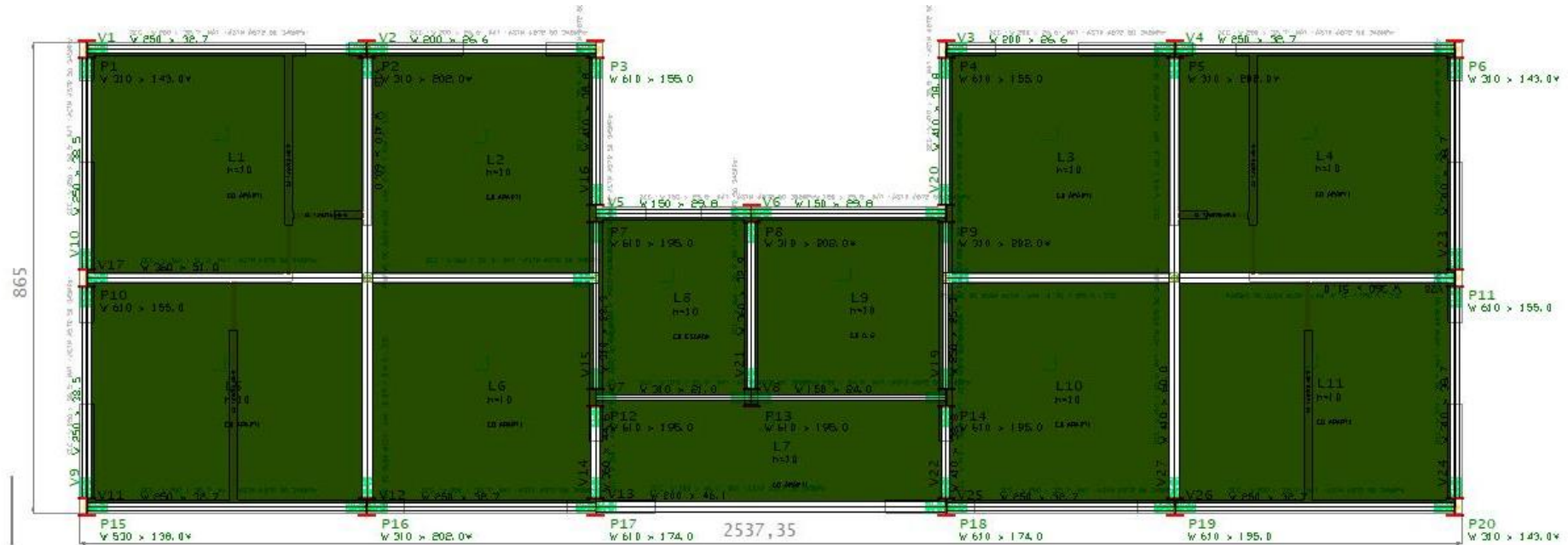


## APÊNDICE M – Relação de Vigas (12 Pavimentos – Estrutura Mista)

Viga	Seção (W ou HP*)								
	1º Andar	2º Andar	3º Andar	4º Andar	5º Andar	6º Andar	7º Andar	8º Andar	Cobertura
V1					W 150x29.8				
V2					W 150x22.5				
V3					W 150x22.5				
V4					W 150x29.8				
V5					W 250x17.9				
V6					W 200x22.5				
V7					W 310x44.5				
V8					W 360x51				
V9					W 200x15				
V10					W 150x18				
V11					W 150x29.8				
V12					W 250x22.3				
V13					W 200x35.9				
V14					W 250x22.3				
V15					W 150x29.8				
V16					W 200x31.3				
V17					W 200x31.3				
V18					W 460x52				
V19					W 310x23.8				
V20					W 250x17.9				
V21					W 310x23.8				
V22					W 200x15				
V23					W 310x23.8				
V24					W 250x17.9				
V25					W 250x28.4				
V26					W 360x51				
V27					W 200x31.3				
V28					W 200x31.3				
VR1					W 150x29.8				
VR2					W 150x22.5				
VR3					W 150x22.5				
VR4					W 150x29.8				
VR5					W 250x17.9				
VR6					W 200x22.5				
VR7					W 310x44.5				
VR8					W 360x51				
VR9					W 200x15				
VR10					W 150x18				

Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE N – Planta Baixa do 1º Andar do Projeto Estrutural (16 Pavimentos – Estrutura Mista)



Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE O – Relação de Pilares (16 Pavimentos – Estrutura Mista)

Pilar	Seção (W e HP*)															
	1º Pav	2º Pav	3º Pav	4º Pav	5º Pav	6º Pav	7º Pav	8º Pav	9º Pav	10º Pav	11º Pav	12º Pav	13º Pav	14º Pav	15º Pav	16º Pav
P1	W 310x1 43	W 310x9 7	HP 310x9 3	HP 310x9 3	W 530x8 2	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x5 1	W 310x4 4,5	W 310x3 8,7	W 310x3 8,7	W 360x3 2,9	W 360x3 2,9	W 310x3 8,7
P2	W 310x2 02	W 610x1 74	W 610x1 55	W 610x1 55	W 310x1 43	W 610x1 40	W 310x1 29	W 310x1 17	W 310x1 07	W 360x1 01	HP 310x9 3	W 530x8 2	W 310x3 8,7	W 360x6 4	W 410x5 3	W 360x6 4
P3	W 610x1 55	W 360x1 01	W 310x9 7	HP 310x9 3	HP 310x9 3	W 530x8 2	HP 310x7 9	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x5 1	W 360x4 4,6	W 310x3 8,7	W 310x3 8,7	W 360x3 2,9	W 310x3 8,7
P4	W 610x1 55	W 310x1 07	W 310x9 7	HP 310x9 3	HP 310x9 3	W 250x8 9	HP 310x7 9	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x5 1	W 360x4 4,6	W 360x7 2	W 310x3 8,7	W 360x3 2,9	W 310x3 8,7
P5	W 310x2 02	W 610x1 55	W 610x1 55	W 610x1 53	W 310x1 43	W 310x1 29	W 310x1 17	W 360x1 10	W 360x1 01	W 310x9 7	W 250x8 9	W 360x7 9	W 310x3 8,7	W 360x6 4	W 360x5 1	W 410x5 3
P6	W 310x1 43	W 310x9 7	W 310x9 7	HP 310x9 3	W 530x8 2	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x5 1	W 310x4 4,5	W 310x3 8,7	W 310x4 4,5	W 360x3 2,9	W 360x3 2,9	W 310x3 8,7
P7	W 610x1 95	W 310x1 43	HP 310x1 25	W 310x1 07	W 310x9 7	W 250x8 9	HP 310x7 9	W 360x7 2	HP 250x6 2	W 200x5 9	W 200x5 9	W 360x5 1	W 200x4 1,7	W 200x3 5,9	W 150x2 9,8	W 200x3 1,3

CONTINUA

## CONTINUAÇÃO

P8	W 310x2 02	W 310x1 29	W 310x1 07	HP 310x9 3	HP 250x8 5	W 250x7 3	HP 250x6 2	W 200x5 9	W 200x5 2	W 200x5 2	W 200x4 6,1	W 200x4 6,1	W 310x4 4,5	W 200x3 5,9	W 150x2 9,8	W 150x2 2,5
P9	W 310x2 02	W 310x1 43	HP 310x1 25	W 310x1 07	W 310x9 7	W 250x8 9	HP 310x7 9	W 360x7 2	W 360x6 4	W 200x5 9	W 200x5 9	W 360x5 1	W 310x3 8,7	W 200x3 5,9	W 150x2 9,8	W 360x3 2,9
P10	W 610x1 55	W 310x1 43	W 310x1 43	W 310x1 43	W 610x1 01	W 610x1 01	W 610x1 01	W 530x8 2	W 530x7 2	W 530x7 2	W 530x7 2	W 410x5 3	W 310x3 8,7	W 310x3 8,7	W 310x3 8,7	W 530x7 2
P11	W 610x1 55	W 310x1 43	W 310x1 43	W 310x1 43	W 610x1 01	W 610x1 01	W 610x1 01	W 530x8 2	W 530x7 2	W 530x7 2	W 530x7 2	W 410x5 3	W 200x3 5,9	W 410x5 3	W 310x3 8,7	W 530x8 2
P12	W 610x1 95	HP 310x1 25	W 310x1 17	W 360x1 01	HP 310x9 3	HP 250x8 5	W 250x7 3	W 360x6 4	HP 250x6 2	W 200x5 2	W 200x4 6,1	W 310x4 4,5	W 310x3 8,7	W 150x2 9,8	W 150x2 9,8	W 150x2 9,8
P13	W 610x1 95	W 310x1 17	W 310x9 7	W 250x8 9	HP 310x7 9	W 360x7 2	W 200x5 9	W 200x5 2	W 200x5 2	W 200x4 6,1	W 200x4 6,1	W 200x4 1,7	W 310x3 8,7	W 200x3 5,9	W 150x2 9,8	W 150x2 2,5
P14	W 610x1 95	W 310x1 29	W 310x1 17	W 310x1 07	HP 310x9 3	W 250x8 9	HP 310x7 9	W 360x6 4	HP 250x6 2	W 200x5 9	W 360x5 1	W 310x4 4,5	W 310x3 8,7	W 250x3 2,7	W 150x2 9,8	W 150x2 9,8
P15	W 530x1 38	W 310x9 7	W 310x9 7	HP 310x9 3	W 530x8 2	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x5 1	W 310x4 4,5	W 310x3 8,7	W 360x6 4	W 360x3 2,9	W 360x3 2,9	W 310x3 8,7

CONTINUA

P16	W 310x2 02	W 610x1 55	W 610x1 55	W 310x1 43	W 610x1 40	HP 310x1 25	W 310x1 17	W 310x1 07	W 310x9 7	HP 310x9 3	W 250x8 9	HP 310x7 9	W 250x3 2,7	W 360x6 4	W 310x4 4,5	W 410x5 3
P17	W 610x1 74	W 310x1 43	W 310x1 29	W 310x1 17	W 310x1 07	W 310x9 7	HP 310x9 3	W 530x8 2	W 360x6 4	W 360x6 4	W 310x4 4,5	W 310x4 4,5	W 250x3 2,7	W 250x3 2,7	W 360x3 2,9	W 360x3 2,9
P18	W 610x1 74	W 310x1 29	W 310x1 17	W 310x1 17	W 310x1 07	W 310x9 7	W 250x8 9	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 310x4 4,5	W 310x4 4,5	W 360x6 4	W 360x3 2,9	W 360x3 2,9	W 360x3 2,9
P19	W 610x1 95	W 610x1 55	W 610x1 55	W 310x1 43	W 310x1 29	HP 310x1 25	W 310x1 17	W 310x1 07	W 310x9 7	HP 310x9 3	W 250x8 9	HP 310x7 9	W 310x3 8,7	W 360x6 4	W 360x4 4,6	W 350x5 1
P20	W 310x1 43	W 310x9 7	W 310x9 7	HP 310x9 3	W 530x8 2	W 530x8 2	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x6 4	W 360x5 1	W 360x4 4,6	W 310x3 8,7	HP 310x7 9	W 360x3 2,9	W 360x3 2,9	W 310x3 8,7

Fonte: do autor (2019).

## APÊNDICE P – Relação de Vigas (16 Pavimentos – Estrutura Mista)

Viga	Seção (W ou HP*)								
	1º Andar	2º Andar	3º Andar	4º Andar	5º Andar	6º Andar	7º Andar	8º Andar	Cobertura
V1					W 250x32.7				
V2					W 200x26.6				
V3					W 200x26.6				
V4					W 250x32.7				
V5					W 150x29.8				
V6					W 150x29.8				
V7					W 310x21				
V8					W 150x24				
V9					W 250x38.5				
V10					W 250x38.5				
V11					W 250x32.7				
V12					W 250x32.7				
V13					W 200x46.1				
V14					W 360x44.6				
V15					W 310x28.3				
V16					W 410x38.8				
V17					W 360x51				
V18					W 410x60				
V19					W 250x25.3				
V20					W 410x38.8				
V21					W 360x32.9				
V22					W 410x38.8				
V23					W 310x38.7				
V24					W 310x38.7				
V25					W 250x32.7				
V26					W 250x32.7				
V27					W 410x60				
V28					W 360x51				
VR1					W 200x46.1				
VR2					W 200x52				
VR3					W 200x52				
VR4					W 200x52				
VR5					W 200x46.1				
VR6					W 200x46.1				
VR7					W 310x44.5				
VR8					W 200x46.1				
VR9					W 200x52				
VR10					W 200x52				

Fonte: do autor (2019).



**UNIVATES**

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09